L. BALDACCI e S. FRANCHI

# STUDIO GEOLOGICO

DELLA

# GALLERIA DEL COLLE DI TENDA

(LINEA CUNEO-VENTIMIGLIA)

PALAZZO CARIGNANO
TORINO

con tre tavole

ROMA
TIPOGRAFIA NAZIONALE
DI G. BERTERO

1900.

(Estratto dal *Bollettino del R. Comitato Geologico,* anno 1900, n. 1).

**Generalità.** — La regione che deve essere attraversata dalla linea ferroviaria Cuneo-Ventimiglia, di cui il tratto da Cuneo a Limone e già da lungo tempo aperto all'esercizio, presenta nel valico alpino detto Colle di Tenda un punto, che venne già impropriamente considerato come limite fra le Alpi e l'Appennino, mentre invece esso rappresenta soltanto una delle ordinarie depressioni nella continuità morfologica e geologica della catena alpina. Quella depressione deve più ragionevolmente, per considerazioni geografiche e geologiche, riguardarsi come un punto singolare del confine fra le Alpi Marittime e le Alpi Liguri: le prime verrebbero comprese fra le valli della Verme- nagna e della Roja da un lato e quelle della Stura di Demonte e della Tinea dall'altro raggiungendo il Colle dell'Argentera, mentre le Liguri sarebbero limitate fra il Colle di Tenda e la Bocchetta di Altare [1] [2].

Dal punto di vista geologico la regione del Colle di Tenda ha una speciale importanza come termine generale di divisione, poiché ivi trova il suo estremo limite orientale la zona orotettonica del Monte Bianco, con predominio di terreni cristallini, la quale dai massicci o nuclei centrali *(Centralkerne* del Diener) del S. Gottardo e dell'Aar,. ai giganteschi affioramenti dei gruppi del Monte Bianco, di Belle- donne, del Pelvoux e dell'Argentera forma l'arco più esterno delle alte regioni della grande cerchia alpina [2].

---

[1] S. FRANCHI, *Sul limite fra le Alpi e gli Appennini* (Geografia per tutti, 15 luglio 1892).
[2] V. NOVARESE, *Le Alpi Piemontesi* (Meinorie della Società geografica italiana, Vol. IX, 1899).

In corrispondenza della Valle Vermenagna, che ha origine a Nord di quel colle, verso il limite interno della regione alpina rimane pure assai ridotta in larghezza quella larghissima zona concentrica, essa pure prevalentemente cristallina detta del Monte Rosa, e formante coi nuclei del Ticino (Antigorio), del Rosa, della Dent Blanche, del Mont Pourri, della Vanoise, del Gran Paradiso, dell'ellissoide Dora-Val Maira, ecc., l'arco più interno, del quale l'ultimo lembo riapparirebbe nel nucleo cristallino del Savonese [3] [4].

Fra i due archi di ampiezza e costituzione differentissima s'interporrebbe, non interrotta, la grande zona che il Diener (l. c.) chiamò zona del Brianzonese, costituita essenzialmente da terreni sedimentari dal paleozoico all' Eocene, la quale formerebbe interamente le Alpi Liguri fino al mare fra Savona ed Albenga Nella descrizione geologica verrà fatto cenno particolare di queste grandi suddivisioni, e delle modificazioni che i più recenti studii consigliano di apportarvi.

Il Colle di Tenda, detto nel medio-evo Colle del Cornio, è uno dei più frequentati valichi alpini e fu praticato fin dall'epoca romana, come attestano le reliquie trovate a Borgo S. Dalmazzo, a Limone ed altrove. La grande rotabile da Cuneo a Nizza vi fu incominciata nel 1591 da Carlo Emanuele I, che fece incominciare anche un'opera di traforo, e condotta a termine nel 1782 da Vittorio Amedeo III, [2] ma già fino dal 1450 era stato fatto sotto Anna di Lusignano un primo tentativo di scavare una galleria sotto il Colle [5].

I grandi lavori stradali sotterranei ivi in questi ultimi tempi compiuti

---

[3] C. DIENER, *Der Gebirgsban der Westalpen.*— Wien, 1891.

S. FRANCHI, *Nota preliminare sulla formazione gneissica e sulle roccie granitiche del Massiccio cristallino ligure* (Boll. B. Com. geol., 1893, fase. 1).

[4] V. MARTELLI e VACCARONE, *Gnida delle Alpi occidentali,* Vol. I. — Torino, 1889.

V. MARINELLI, *L'Italia.* — Milano.

[5] V. Enciclopedia dell'ingegnere, Vol. I, parte III, L. Vallardi. — Milano.

e cioè prima la galleria della strada nazionale, lunga circa

[1] II traforo della galleria per la strada nazionale fu incominciato nel giugno 1873, e dopo varie fortunose vicende fu terminato con perforazione a mano al 1° giugno 1882. — La galleria è illuminata attualmente da 110

3 chilometri, la quale abbassò il difficile valico del Colle dalla altitudine di metri 1873, che doveva raggiungersi con una numerosissima serie di risvolte su coste franose ed esposte alle nevi e alle tormente, fino a circa metri 1322, e più recentemente la grande galleria ferroviaria, della lunghezza di più che 8 chilometri, perforata in basso quasi in corrispondenza e circa metri 300 sotto la prima, hanno rivelati nella struttura geologica del terreno degli importanti e singolari fenomeni tettonici, per alcuni dei quali, malgrado la relativa abbondanza di elementi, la interpretazione riesce tuttavia ardua, e non può in qualche punto uscire dal campo delle ipotesi.

La cima di Colle Alto, sulla quale è edificato il forte omonimo si erge, fiancheggiando ad Est il Colle, fino a metri 1909, e la linea di spartiacque continua verso Est per le cime di Becco Rosso (metri 2207), del Becco (metri 2500) ecc., mentre verso Ovest la cresta montuosa è marcata dalle cime di Pernante e dalle dirupate pareti gneis- siche e anagenitiche dell'Abisso (metri 2155).

Volgendo da qualche punto elevato nei pressi della stazione di Limone lo sguardo verso Sud questa cortina montuosa si presenta nella sua maestosa forma di ampio circo colla concavità aperta a Nord, nei cui fianchi incidono il loro corso il torrente S. Giovanni proveniente dalle alture del Becco, e quello di Limonetto che nasce nella Rocca dell'Abisso, i quali riunendosi presso Limone vanno a formare il corso della Vermenagna.

I versanti sono nella loro parte inferiore ampii e non ripidi, ma frastagliati dalle erosioni e tormentati da disturbi stratigrafici e sono coronati in alto da ripidi ciglioni e dirupi calcarei, talora isolati e ristretti come quelli del Bric Castea e del Bec Baral, talora riuniti in creste dentellate o formanti angusti altipiani tabulari come quello del Colle Alto. La imponente massa dell'Abisso chiude a Ovest il panorama, il quale è limitato ad Est dalle cime dei monti Jurin e delle Fasce, sul partiacque fra Vermenagna e Pesio.

Uno dei tratti più caratteristici nella struttura geologica della regione, intimamente legata alla forma esterna, è dato dalla disposi-

zione della formazione eocenica, la quale stipata in lembi ristretti e allungati nelle valli della Vermenagna e della Roja, si allarga notevolmente verso Sud, e acquistando ivi una grande potenza, maschera quasi interamente i più antichi terreni, costituisce gran parte dei monti racchiudenti le valli dei torrenti Argentina ed Arroscia, e presenta il suo limite Nord- orientale, presso Albenga, oltre il torrente Centa, nome che piglia la Neva dopo la sua confluenza con quell'ultimo torrente.

Dalla potente serie scistoso-arenacea e calcarea dell'Eocene spuntano qua e là gli affioramenti dei terreni più antichi, dallo gneiss e dal Permiano fino al Cretaceo.

L'allineamento generale delle formazioni nel versante settentrionale è in questo tratto abbastanza costante, con una direzione generale N. 20°O-S. 20°E; e non tenendo conto dei numerosi e intensi disturbi stratigrafici locali, marcatissimi specialmente nella zona eocenica, la inclinazione più costante è approssimativamente verso E.20°N, mentre nel versante meridionale le formazioni sono generalmente raddrizzate, spesso ripiegate e sconvolte e traversate da numerose litoclasi, senza una tendenza generale a pendere verso Sud.

I grandiosi lavori, spesso attraversati da gravissime difficoltà, per la perforazione della Galleria ferroviaria, vennero assiduamente seguiti per cura del R Ufficio geologico, e alcuni funzionari di questo, fra i quali gli scriventi, ebbero ripetute occasioni di visitarli, e furono più volte richiesti di pareri su difficoltà e problemi costruttivi in dipendenza delle accidentalità geologiche che si incontrarono durante i lavori. L'Ufficio geologico per gentile concessione della Direzione governativa dei lavori possiede ora una completa e sistematica raccolta delle roccie traversate col traforo.

Anche della galleria per la strada nazionale si ha una raccolta, ma fatta alquanto saltuariamente durante i lavori [6], la quale venne

lampade elettriche ad incandescenza, di 16 a 20 candele ognuna, distanti metri 28,60 l'una dall'altra, che vennero, ottenendo notevole economia e maggior quantità di luce, sostituite agli antichi fanali a petrolio. La forza motrice per questo impianto elettrico è

fornita dalle sorgenti della Roja.

in parte arricchita con campioni tolti appositamente dalle nicchie non murate.

Valendoci di questi dati, delle osservazioni dirette da noi fatte durante le visite ai lavori interni e della Carta geologica a 1 50000 della regione, rilevata già da tempo da uno di noi per incarico del R. Ufficio geologico, e completata in qualche dettaglio con apposite escursioni, crediamo opportuno ora che questa grande opera si avvia al suo felice compimento, e poiché ben presto il rivestimento murario completo della Galleria cancellerà ogni traccia dei terreni traversati e dei singolari fatti stratigrafici osservati, di conservarne la memoria, e di tentare su queste basi la interpretazione della intricata struttura geologica di questo tratto della catena alpina.

Prima di entrare in materia è per noi un grato dovere quello di esprimere i sensi della nostra viva riconoscenza alla benemerita Direzione governativa dei lavori, e cioè all'egregio ingegnere-capo cav. A. Amadasi, all'ingegnere R. Girard, e ai suoi degni collaboratori signori Baldini e Fiori, nonché ai signori fratelli Vaccari della Impresa costruttrice per le facilitazioni che in ogni occasione ci furono largite, sia per visitare i lavori, sia per raccogliere i campioni di roccie, sia per ogni informazione che ci occorse di richiedere.

**Caratteristiche della zona tettonica comprendente i dintorni del Colle di Tenda.** — All'esterno della fascia quasi continua di terreno Permo-carbonifero, la quale si sviluppa nel mezzo delle Alpi Occidentali fra il golfo di Genova e l'alta valle del Rodano, tra questa stessa fascia ed i massicci cristallini costituenti la cosiddetta *zona del Monte Bianco,* si sviluppa, come già venne accennato, una zona di terreni comprendenti oltre alla serie secondaria, lembi più o meno

importanti di eocene [7]. È questa la *seconda zona alpina* del Lory, che il Diener [8] [9] [10] [3] [4] [3] [4] riunì alla zona permo-carbonifera suddetta, corrispondente alla terza zona alpina distinta da quel primo geologo (*zone des grès à antracite*) per farne la zona da lui detta *zona del Brianzonese.*

Gli studi ora compiuti nelle Alpi Occidentali consiglierebbero di ritornare alla primitiva suddivisione del Lory, come fece l'Haug [3], che alla 1ª e 2ª zona alpina del Lory attribuì rispettivamente i nomi di *zone des Aiguilles d'Arves* e *zone axiale du Briançonnais* [4].

La prima di queste due zone ha un considerevole sviluppo lungo il lato N.E del massiccio dell'Argentera tra l'alta valle dell'Ubaye e dell'Ubayette e le Alpi Liguri, attraverso alle valli Stura, Gesso e Vermenagna, nella parte superiore della quale ultima valle, alle falde della gneissica Rocca dell'Abisso, ha il suo limite occidentale sullo spiovente tirreno delle Alpi Marittime. In quella zona, a Est della Rocca dell'Abisso, è aperta la bassura, detta Colle di Tenda, e nei terreni di quella zona medesima è perforata la Galleria di egual nome della quale descriveremo il profilo.

Si volle qui accennare brevemente alla posizione di quel traforo rispetto alle zone di terreni suddette, soltanto perchè possedendo esse delle speciali caratteristiche sia tettoniche che stratigrafiche, dovute alla identica storia geologica delle regioni che vi sono comprese, ossia alle analoghe vicissitudini nel deposito dei terreni e nei loro successivi movimenti, le conclusioni tratte in alcuni punti di esse, dove siansi presentate condizioni di studio favorevoli, possono fornire utili elementi per lo studio di altri punti di più difficile interpretazione, e suggerire il più opportuno indirizzo per le indagini da farsi.

---

[7] Ch. LORY, *Essai sur l'orographie des Alpes Occidentales.* — Paris-Grenoble, 1878.

[8] C. DIENER, 1. c.

[9] E. HAUG, *Contribution à l'étude des lignes directrices de la chaîne des Alpes* (Annales de Géographie, tome V, p. 167).

[10] S. FRANCHI, *Sull'età mesozoica della zona delle pietre verdi nelle Alpi Occidentali* (Boll. R. Com. geol., 1898, fase. 4°).

Così nel caso nostro l'esame delle osservazioni fatte in terreni di questa zona in Moriana e nel Brianzonese e quelle fatte in alcuni punti di essa nella parte italiana, ci possono indicare all'incirca la natura e l'intensità dei fenomeni tettonici che dobbiamo aspettarci di constatare nel profilo della Galleria.

Facciamo una rapida rassegna di alcuni dei risultati ottenuti dagli studi compiuti in questa zona.

Alla Grande Moenda, nel versante destro della valle dell'Arc a Nord di S$^t$.-Michel, il Kilian osservò dei fenomeni di ricoprimento del Lias superiore per parte del Lias inferiore e del Trias, in grazia di una piega coricata quasi orizzontalmente, il cui ramo superiore rovesciato è esso stesso a sua volta fortemente ripiegato [11]. Tra il Permo-carbonifero ed il Nummulitico si notano ivi tre anticlinali di Trias racchiudenti tre sinclinali di Lias. In questa stessa regione è nota la faglia detta di S$^t$.-Michel tra il Carbonifero ed i terreni secondari.

Lo stesso Kilian in collaborazione con E. Révil ci dà alcuni profili attraverso il vallone di Valloire [12], poco distante dall'orlo N.E del Pelvoux, in cui oltre alle pieghe multiple e laminate di terreni secondari che si rovesciano sull'Eocene, è indicato tra questo e quei terreni un contatto anormale lungo una faglia estesissima, in corrispondenza della quale il rigetto sembra sia stato assai importante.

E appunto la costanza di questa faglia fra l'Eocene ed i terreni secondari, che per effetto di essa vengono a ricoprire quel primo terreno, è uno degli argomenti invocati dal Termier per sostenere la teoria di recente emessa sulle *Nappes de recouvrement du Briançonnais.*

Una faglia in posizione analoga vedremo esistere al Colle di Tenda fra i terreni secondari e l'Eocene, sul quale quelli vengono a formare un esteso ricoprimento.

---

[11] W. KILIAN, *Sur l'allure tourmentée des plis isoclinaux dans les montagnes de la Savoie* (Bull. Soc. GÉOL de France, 3$^e$ série, T. XIX, p. 1152).

[12] W. KILIAN e F. REVIL, *Description géologique de la Vallée de Valloire (Savoie) et de quelques massifs adjacents.* — Chambéry, 1899.

Senza parlare dei profili del Lory, nei quali sono indicate assai più faglie di quanto le osservazioni posteriori non portino a riconoscere, secondo il profilo di Kilian e Lugeon [13] condotto tra la Gironda ed il confine italiano a Sud di Briançon, vi sarebbero sulla riva sinistra della Durance delle pieghe estesissime e coricate di terreni secondari, che al loro limite occidentale vengono a brusco contatto col Permo-carbonifero. i

Più presso a noi, nella valle dell'Ubaye, Kilian e Haug [14] riconobbero l'esistenza sull'Eocene di una grande serie di *masse esotiche* di terreni secondari, le quali essi considerano come testimoni di parecchie *falde di slittamento* (nappes de charriage), che i caratteri litologici e paleontologici e la disposizione delle pieghe mostrerebbero aver dovuto procedere da N.E, cioè dalle più esterne delie pieghe della zona di cui stiamo esaminando le caratteristiche. Secondo quei due geologi il ricoprimento avrebbe avuto una estensione superiore ai trenta chilometri.

Al di qua del confine, nell'alta valle della Stura, una grandiosa faglia tra Argentera e Bersezio porta a diretto contatto cogli strati ad *Helminthoida* dell'Eocene superiore i calcari del Trias ad *Encri- nus liliiformis* ; ed i terreni secondari sul versante sinistro della valle presentano strettissime ripiegature rovesciate verso S.O.

Più presso alla regione che ora ci interessa, nel contrafforte fra Stura e Gesso, si osserva una ripetuta serie di pieghe laminate iso- clinalmente, nelle quali, fra terreni secondari dove figurano Trias, Lias, Giurese e forse anche il Cretaceo, si notano quattro distinte zone sinclinali pizzicate di Eocene, delle quali due sono ristrettissime.

È appunto una di queste pieghe di terreno giurese, quella della

---

[13] W. KILIAN e M. LUGEON, *Une coupe transversale des Alpes briançonnaises de la Gironde à la frontière italienne* (Comptes-rendus de l'Académie des sciences, 14 janvier 1899).

[a] W. KILIAN e E. IIAUG, *Sur Vorigine des nappes de recouvrement de la région de Γ Ubaye* (Comptes-rendus de l'Académie des sciences, 14 février 1898).

Rocca Pissousa, dominante a N.O l'abitato di Valdieri, che ha il suo proseguimento nella catena Rocca Vacciarampi — Monte Bussaja — Monte Pianard, e oltre la Valle Grande di Vernante, nell'affioramento di Bec Baral. Questo si ricongiunge, sotto il quaternario dei pressi di Limonetto, attraverso il vallone di egual nome, coll'affioramento della balza calcare, che, a guisa di un enorme banco intercalato nell'Eocene, va a formare le rupi ricoperte dal Nummulitico fossilifero, sul quale è basato il forte centrale di Colle Alto, poco ad oriente del Colle di Tenda.

L'anticlinale suddetta ha una grande importanza perche il suo esteso affioramento, assai distinto, tanto orograficamente che litologicamente, costituisce una delle principali direttrici tettoniche della regione. Uno di noi ha dimostrato come questa anticlinale presenti, una rottura seguita da faglia nel suo limite meridionale, dove sopra una certa estensione l'Eocene medio viene a brusco e diretto contatto con strati sottostanti a quelli con *Gryphcea arcuata* [15]. Altre faglie numerose ed importanti sono visibili tra Permo-carbonifero e Trias nel vallone di San Giovanni tra Monte Jurin, la Costa Murin ed il vallone di San Giovanni, che sbocca nella Vermenagna a Limone.

A quella stessa anticlinale o meglio allo stesso fascio di pieghe anticlinali, appartengono senza dubbio i calcari marmorei a crinoidi con rare belemniti che affiorano fra l'Eocene alla Cima di Pepino, a S.E del Colle, dove essi includono zone di calcare nummulitico in modo che queste sembrano con quelli interstraficate. Dalia stessa piega assai probabilmente ripetono la loro origine gli affioramenti di calcari triasici che si osservano in pieno Eocene alle falde S.O di Monte Missouri a oriente di Tenda, nel versante del vallone di Briga Marittima, e gli affioramenti di calcari giuresi nell'alto circo della valle dell'Argentina, alle falde di Monte Saccarello e di Monte Fronté, nei quali venne raccolta una fauna del Titonico.

---

[15] S. FRANCHI, *Contribuzione allo studio del Titonico e del Cretaceo nelle Alpi Marittime italiane* (Boll. R. Com. geol., anno 1894, fase. 1).

Tutti questi fatti mostrano che la zona di terreni nella quale è aperta la Galleria di Tenda è caratterizzata dalla sua struttura a pieghe stipate rovesciate all’esterno, le quali talvolta si rompono, dando luogo a frequenti faglie, i cui piani hanno pendenze verso l’interno, e nelle quali il rigetto avviene con ricoprimento dello parti interne sulle esterne (rispetto all’arco alpino) della faglia stessa.

Ove poi si rifletta alla serio di movimenti avvenuti a datare dal Permo-carbonifero, e particolarmente al finire del Permiano e del Trias inferiore, anteriormente al Giureso, dopo il Cenomaniano ed il Seno- niano, ed alle conseguenti emersioni, seguite da periodi di abrasione e di nuovo immersioni, i quali fenomeni originarono le trasgressioni del Permiano, del Trias inferiore e medio, del Giurose e dell’Eocene, si può formarsi un’idea dello complicazioni che saranno por incontrarsi nella successione e posiziono relativa dei diversi terreni, e, data la povertà di fossili, le difficoltà straordinarie nello spiegarne la stratigrafia e la tettonica.

Tratteggiata cosi la fisionomia della zona tettonica a cui appartiene la regione in cui è aperta la Galleria di Tenda, prima di descrivere i terreni incontrati, passiamo a dare una breve descrizione geologica della regione che si estendo tra Limone e Tenda nelle parti alte dei due bacini della Vermenagna e della Roja.

**Descrizione geologica della regione [16].** — La Vermenagna tra San Giacomo di Vernante ed i pressi di Limone ha il suo thalweg aperto nei calcari di una sinclinale di Trias medio, la quale si può seguire da Monte Pena a S.O di Robilante fino alla Costa Murin, a ridosso dell’abitato di Limono, dal lato N.E. E una sinclinale ristretta coricata verso S.O, con direzione media N.O-S.E, e che è separata da una zona non potente ma continua di quarziti e di scisti quarzo-sericitici dal Permo-carbonifero del gruppo della Besimauda. Al lato Est della

[16] Nell'eseguire il rilevamento della regione è stato utilizzato il precedente rilevamento dell’Ing. Zaccagna, nel quale le pieghe triasiche e gli affioramenti giuresi dei dintorni di Limone erano indicati con molta esattezza.

Costa Murin una faglia chiarissima con direzione N. 15°. O stabilisce un limite anormale fra il Trias inferiore e medio della sinclinale suddetta ed il Permo-carbonifero. A questa segue verso S.O un'anti- clinale di quarziti del Trias inferiore, nel cui mezzo, una zona di scisti sericitici, che dal cocuzzolo (di quota 1685 m.) scende verso San Maurizio, e si mostra nei pressi della stazione di Limone, potrebbe rappresentare il Permiano. Dell'anticlinale quarzitica si può osservare il proseguimento nel vallone di San Giovanni ad Est di C. Astesan, alle falde di Bric Savoia, a Sud della quale essa si interna sotto la massa della Cima delle Fascie (2495 m.), le cui eccelse rupi sono costituite da formazioni calcari riferibili al Giurese, al Cretaceo ed all'Eocene.

La testata di Monte Vecchio (1920 m.) ad Est di Limone, è in calcari del Trias medio, appartenenti ad una anticlinale di questo terreno, sotto alla quale si vede il nocciolo di quarziti e scisti sericitici in un contrafforte limitato, su cui si svolge la mulattiera che conduce da Limone alla sommità di quel monte. Tra l'anticlinale ultima di Monte Vecchio e quella precedente di Trias inferiore si trova una sinclinale di Trias medio ristrettissima, la quale probabilmente è da quella separata per effetto di una faglia.

A Sud di Monte Vecchio, la Maira [17] Volpigera ed i Tetti Giton e Gianet sono già collocati sugli scisti dell'Eocene, che in larga zona si presenta nella Valle Grande di Vernante, nel cui versante ricopre in trasgressione l'anticlinale di San Maurizio e quella di Monte Vecchio, e si estende nella valle principale tra i calcari del braccio Sud di questa anticlinale e l'anticlinale giurese di Bec Baral.

Questa zona di terreno eocenico nel Contraftbrte tra la Verme- nagna ed il vallone di S. Giovanni si inoltra verso Nord, trasversal

[17] *Maira* indica nella regione una casa di contadini isolata nell'alta montagna, come *tetti* indica un gruppo di case; tanto la prima che i secondi possono anche essere abitati durante l'inverno.

Nel Savonese la prima parola si trasforma in *meuja*.

mente all'anticlinale di Monte Vecchio, fino a Limone Di più, a metà della falda della Costa Murin si osserva una striscia di scisti calcari con nummuliti, pizzicata nella sinclinale di calcari del Trias, presentanti quivi delle diplopore e striscie ricche di piccolissimi gasteropodi indeterminabili.

La zona di Eocene di cui parliamo si sviluppa tra il vallone di S. Giovanni ed il vallone Cabanaira e ricopre, con un lembo poco potente, su cui sviluppano i meandri della strada che sale al Colle di Tenda dal lato Nord, i calcari marmorei affioranti nell'esteso ciglione tra Limonetto ed il Forte di Colle Alto.

Il proseguimento di quella zona eocenica arriva allo spiovente della Valle Roja tra il p. 2169 a Nord della Cima di Pepino ed il colle della Perla, che è all'estremità del vallone di S. Giovanni ; scende nel vallone di Rio Freddo e si espande a Sud del Colle Selle vecchie nel contrafforte Monte Bertrand — Monte Saccarello — Monte Fronté, limitante ad occidente l'alto bacino del Tanaro.

Questa zona ha una struttura sinclinale evidente, ma molto disimmetrica, e si rovescia come tutte le altre pieghe verso S.O. Essa comprende nel suo mezzo dei lembi di Eocene superiore, costituiti essenzialmente di arenarie in grossi banchi con sottili interstrati di scisti calcari, dove abbondano le fucoidi e l'*Helmintoida labyrinthica.* È caratteristica pel suo aspetto e pei ripiegamenti multipli che si vedono verso oriente di chi salga la strada del Colle, la massa di questo terreno che forma la cresta diruta (senza quota) che è a S.E della Cima di Gherra [18]. Ad esso appartengono pure la massa della Cima del Becco e tutta l'alta catena del Monte Saccarello tra Cima Velega e

[18] Sono forse le ripide pareti di queste arenarie che fecero sospettare al Portis l'esistenza di « anageniti e besimauditi triasiche e permiane » nel « fianco meno erto verso Nord » del vallone di Cabanaira, poiché di tali roccie non havvi traccia in questo vallone, ed esse non affiorano che a qualche chilometro di distanza nel vallone di S. Giovanni. (V. *Due località fossilifere nelle Alpi Marittime.* Boll. Soc. geol. ital., Vol XVII, 1898).

Monte Monega, nell'alta catena separante i bacini della Roja, del Ta- naro e dell'Argentina.

Al modo istesso in cui Ja zona eocenica precedente si prosegue ininterrotta dal versante marino alla Stura, un'altra zona dello stesso terreno dalla Valle Stura nei pressi di Demonte passa in Val Gesso al Colletto della Madonna, tiene il versante destro del vallone della Trinità (Entracque); passa nella Valle Grande di Vernante in corrispondenza della Cresta Pianard, e di qui nel vallone di Limonetto, tra la vetta che è a S.O di Bec Baral (giurese) e il Monte Ciotto-Mien ; passa quindi nel versante della Roja tra la Cima Pernante ed il Colle di Tenda propriamente detto, occupa tutta l'estremità del bacino della Roja, superiormente alla sorgente di esso, poscia volgendo nel versante del Rio Freddo fra Cima Becco Rosso e Monte Corto, si allarga assai nella Valle di Briga, e va a formare l'alta testata della Cima di Marta. Questa zona comprende la più occidentale fra le masse eoceniche dell'alta Valle Roja. Essa è separata dalla precedente dall'affioramento quasi non interrotto di terreni giuresi Rocca Vacciarampi-Monte Bussaja-Monte Pianard-Bric Brusata-Bec Baral-Colle di Tenda ; ma più a S.E le due zone si confondono presso la Cima Becco Rosso, e gli affioramenti secondari della Cima di Pepino, intimamente interstratificati con masse di calcari ed arenarie nummulitiche, che in banco potente scendono verso S.E nel Rio Freddo, segnano per un certo tratto il loro contatto reciproco.

Prima di passare a descrivere i terreni che affiorano nel versante della Roja è bene accennare all'esistenza di numerosissimi affioramenti di terreni secondari recenti, i quali, a guisa di veri *Klippen*, spuntano in molti punti nella prima delle zone eoceniche ora descritte. Lasciando di annoverare le minori di tali masse secondarie, che talora raggiungono solo qualche diecina di metri di larghezza, citerò quella di Bric Castea e quella che ne costituisce il prolungamento verso S.E, sulla quale sono la Maira Magni ed i Tetti Remondin ; alcune piccole ad Est dell' imbocco Nord della Galleria e quella del Colle Buffe; un affioramento esteso a Sud di Limone, ad occidente

della serra morenica del vallone di S. Giovanni ; al Bric Valletta, ed una a Nord di Cima Becco Rosso, la quale si ricollega con quella già citata della Cima di Pepino. Queste masse sono di calcari marmorei o compatti, bigio chiari talora leggermente rosei, raramente con stratificazione perfetta. In molti punti contengono numerosi crinoidi, rari corallari, ed in alcuni punti (Bric Castea e Cima di Pepino) offersero, come nelle balze del Colle di Tenda rare belemniti. Di questi fossili furono pure trovati in un sottilissimo affioramento di calcari marnosi in Straterelli sul contrafforte ad Est dei Tetti Gherra. Per l'analogia litologica e per la somiglianza loro nel modo di affioramento in mezzo all'Eocene si sarebbe condotti ad assimilare queste masse calcari con quelle che nella Valle Argentina contengono una fauna del Titonico. Non avendovi però rinvenuti, oltre le belemniti non determinabili altri fossili caratteristici, conviene limitarsi a considerarli come giuresi senza determinazione di piano.

Dal punto di vista geognostico è importante il notare come tali masse di terreni giuresi affiorino fra l'Eocene, indifferentemente nelle parti alte o basse dei contrafforti, e nelle parti più o meno profonde della zona inferiore di questo terreno, talché essi si dimostrano come spuntoni di un terreno eroso sul quale l'Eocene si depose in trasgressione. Si disse della zona inferiore, perche finora nessun affioramento secondario è noto fra gli strati superiori ad *Helminthoida.*

Gli affioramenti dei dintorni immediati di Limone dimostrano che ivi esisteva un seno del mare giurese, che si internava in mezzo al Trias, sul quale terreno si deposero in trasgressione i terreni di quella prima epoca, i quali poi furono profondamente erosi, anteriormente al deposito dell'Eocene, che nella regione si trova in trasgressione su tutti i terreni, compreso il gneiss, certo precarbonifero, del gruppo dell'Argentera.

Le due zone eoceniche sono, come fu detto, separate da un affioramento continuo di terreni secondari, di cui è importante indagare l'età, venendo essi in parte attraversati dalla Galleria.

Uno di noi [19] [20] [2] [2] espresse già la sua opinione sull'età di questi calcari, che attribuì al Giurese, quantunque non avesse rinvenuto in essi altri fossili, possedenti un certo valore cronologico, che delle belemniti. A quella conclusione era tratto dalla corrispondenza tra i calcari del Colle di Tenda (dedotta dalla continuità dell'affioramento e dalla identità litologica) e quelli costituenti la sommità della catena del Monte Bussaia-Rocca Vacciarampi, i quali poggiano in discordanza, tanto nel versante verso Entracque che in quello verso Roaschia, sopra strati a *Gryphcea arcuata* Lamk. e ad *Arietites bisulcatus* Brug., e fanno superiormente graduale passaggio a strati con belemniti appartenenti al genere *Duvalia.* In un altro lavoro [2] venne confutata l'opinione espressa dal Portis [21] che questi calcari appartengano al Trias superiore, opinione che non era suffragata da nessun fatto positivo e che la presenza delle belemniti basta a dimostrare erronea.

I corallari, determinati solo genericamente ed anche con qualche incertezza dal Portis, non potevano costituire un dato paleontologico sufficiente per fissare un piano qualsiasi ; ma, anche supposto che la determinazione dei generi fosse attendibile, essi indicavano a preferenza un terreno più giovane del Trias ; poiché mentre tutti i generi citati si estendono dal Trias al Gtiurese ed al Cretaceo, il genere *Stylina* è particolarmente abbondante appunto nel Giurese [4].

---

[19] S. FRANCHI, *Contribusione allo studio,* ecc.

[20] S. FRANCHI, *Sulla geologia di alcuni punti delle Alpi Marittime e Cozie.* Osservazioni dell'ing. Secondo Franchi a proposito di una nota del professore A. Portis (Boll. Soc. GeoL ital., Vol. XVII (1898), fase. 4).

[21] A. PORTIS, 1. c.

* E il caso di ricordare qui che alcuni corallari raccolti dal Bruno a Monte Brusatà poco a N.O di Bec Baral, in calcari marmorei che sono la visibile prosecuzione di quelli di Tenda, corallari che il Michelotti aveva determinati per *Cyathophyllium,* furono dal Portis riferiti al genere *Calamophyllia*; e paragonati ai corallari del Titonico di Argentera e del Monte Saléve (A. PORTIS, *Sui terreni fossiliferi dei dintorni dell' Argentera.* Mem. della R. Acc. d. Sc. di Torino, anno 1881). Questa determinazione, che concorda precisamente colle nostre idee sull'età del calcare del Colle di Tenda, viene a confutare quanto su di essa ebbe a dire lo stesso Portis, il quale, se avesse mezzo di paragonare i campioni di roccia a *Calamophyllia,* dell'Argentera con quelli di Tenda, potrebbe agevolmente riconoscerne l'identità della roccia o convincersi che la prima sua opinione era quella giusta.

II Portis, per provare l’età triasica di quei calcari, si appoggia anche sulle analogie litologiche che essi presentano coi calcari del- l'Azzarola ; però si può affermare con tutta sicurezza che i calcari del Trias tanto delle Alpi Marittime che delle Cozie non hanno nessun carattere litologico comune con quelli in questione.

Fu già accennato come i calcari marmorei suddetti si colleghino con quelli di Bec Baral attraverso il vallone di Limonetto, verso il quale essi formano un ciglione caratteristico che sale al Colle di Tenda, e quindi si svolge con direzione Ovest-Est per formare le balze sulle quali è costrutto il Forte di Colle Alto. Vari affioramenti di detto calcare si vedono nel vallone di Cabanaira e nel versante

settentrionale del Colle attraverso gli squarci della coperta eocenica (calcari ed arenarie più o meno grossolane con *Nummulites perforata, N. curvispira,* ecc) prodotti o dall’erosione o da salti, di cui alcuni sono evidenti ; e i calcari stessi sembrano costituire come un potente banco diretto approssimativamente N.O con pendenza di 25 o 30° verso N.E.

Nel versante del vallone di Limonetto tale banco, che è ricoperto dagli strati con nummuliti della 1ª delle zone eoceniche, ricopre gli scisti arenacei della 2ª di quelle zone, i quali si immergono sotto di esso con lievi pendenze. Il limite inferiore del banco non è contraddistinto da una zona nummulitica come quella soprastante, ma al suo contatto, in qualche punto, si osservarono striscio di calcari con piccole nummuliti come quelli che si trovano nell’ Eocene medio fin sotto la zona ad *Helminthoida.*

Sulla linea di displuvio tirreno-padana gli scisti eocenici si immergono sotto i calcari marmorei pochi metri ad oriente del Colle; così tra questo ed i pressi del Ricovero Maggiore, presso il quale una grande quantità di blocchi dei calcari franati delle balze, ricopre l' Eocene, e ne nasconde il limite superiore.

Un 180 metri circa ad oriente di quel ricovero, al disotto dei calcari e senza alcuna transizione con essi, si nota una non potente zona (15 metri) di scisti vinati od ocracei con patine verdognole e

grandi cristalli di pirite ; e al disotto di questi scisti dei calcari dolomitici bigio-cenere, farinosi, con essi intimamente legati. In queste roccie non si trovarono fossili, ma esse sono litologicamente identiche a quelle sottostanti agli strati a *Gryphcea arcuata* le quali formano un orizzonte quasi continuo sotto ai calcari marmorei della catena Monte Bussaia-Rocca Vacciarampi. Gli stessi scisti rossi sottostanno ai calcari marmorei presso Pallanfrè e ricoprono dei calcari dolomitici con carniole ; si ritrovano fra le due cime di Bec Baral e sotto al costolone che da esso scende verso Limonetto, a Nord di T. Cortassa. L'identità litologica, la loro posizione e la continuità osservata permettono di riferire queste roccie al Lias inferiore od al Retico. I calcari dolomitici sono con grande probabilità da riferirsi a questo ultimo piano.

Fra le quote 1760 e 1700 a S.E del Ricovero Maggiore e fra le quote 1560 e 1640 a Sud di esso si osservano, circondati dall'Eocene, due lembi dei terreni suddetti, disposti nello stesso ordine: calcari marmorei, scisti argillosi variegati, calcari dolomitici color cenere. Questi lembi, aventi al più un centinaio di metri di larghezza, pel fatto di avere gli strati rotti e sconnessi e di mancare, come si vedrà più sotto, di radice, giacche nelle gallerie sottostanti non furono incontrate le roccie corrispondenti, si debbono, secondo noi, considerare come due lembi franati dalle balze del Colle Alto, a misura che la erosione degli scisti eocenici sottostanti ne scalzava la base, e scivolati lungo la falda del monte nei punti dove ora li troviamo.

Fra l'Eocene sono notevoli due altri piccoli affioramenti, proprio nel fondo del rigagnolo a pareti scoscese e franose che sta ad occidente dell'imbocco Sud della galleria carrozzabile. Sono affioramenti di qualche diecina di metri, nei quali si notano gessi, calcari dolomitici e carniole, e che si trovano l'uno all'altezza di quell'imbocco, l'altro un 20 metri più in alto [22]. Non sembra dubbio che essi sieno affioramenti della grande massa di anidrite con calcari associati, che si vedrà essere attraversate dalle due gallerie.

---

[22] Questi affioramenti sono indicati sulla Carta geologica colle lettere AeB.

Un affioramento di gesso si nota ancora nel Rio Margone a S.E del Ricovero della Punta, presso il limite tra Eocene e Cretaceo.

La struttura geologica della zona che ora descriveremo è complicatissima e non perfettamente spiegabile, nemmeno ora che la perforazione delle due gallerie ci ha fornito la serie incontrata a differenti profondità sotto la superficie del terreno.

A 300 metri dall'imbocco Sud della galleria carrozzabile è chiaramente visibile all'esterno, e fu constatata anche nello scavo, una frattura, in forza della quale i calcari marmorei dell'imbocco, che consideriamo come giuresi, una zona sottile di calcari marnosi in strate- relli che parrebbe rappresentare il Cretaceo, ed i soprastanti calcari scuri con nummuliti diretti N.O e fortemente raddrizzati vengono a brusco contatto cogli scisti arenacei eocenici (vedi la Tav. III). La direzione di quella frattura è all'incirca N. 15°. E; quindi di poco inclinata rispetto all'asse di quella galleria. Il prolungamento di essa verso Sud corrisponde quasi esattamente al limite dei calcari marmorei giuresi e dei calcarei listati cretacei, sui quali sono i Tetti Ghio, coll'alluvione del Rio Canelli, ad occidente della quale però affiora l'Eocene, fin presso il ponte della strada carrozzabile sopra il detto rio. Ad occidente di quella frattura il limite fra l'Eocene ed il Cretaceo sottostante è diretto prossimamente verso O.S.O, e passerebbe poco a Nord del ponte citato sopra, sicché, in corrispondenza di essa noi dobbiamo supporre che lo spostamento nel senso orizzontale, per effetto del movimento avvenuto non sia inferiore a 400 metri.

Presso alla traccia di quella frattura, a S.O di Tetti Ghio, accanto allo stradale, al primo risvolto di esso, sotto il ponte sul Rio Canelli, ricoperto direttamente dagli scisti cretacei, havvi un affioramento, non più esteso di 12 metri quadrati, di uno gneiss molto alterato, colla mica cloritizzata, presentante qua e là vene di oligisto. È uno gneiss come quelli della non lontana Rocca dell'Abisso e del vallone di Caramagna (v. la Carta geologica) perfettamente caratterizzato, sì per composizione mineralogica che per struttura, e ohe pre

senta la caratteristica microscopica della *struttura vermicolare* [23] propria di molti graniti e gneiss.

Questo affioramento di gneiss si trova al lato orientale dell'alluvione, che in questo punto per la confluenza dei due rivi Margone e Canelli, raggiunge la massima larghezza (10) metri circa), e dista orizzontalmente una cinquantina di metri dal profilo della galleria, la quale passa proprio nel bel mezzo di quell'alluvione.

A Sud dell'affioramento gneissico i calcari marnosi in straterelli del Cretaceo, si osservano molto raddrizzati ai due lati del fondo di valle; però poco più in basso, a levante della cosidetta sorgente della Roja, sul lato sinistro della valle, preceduto a monte da poca terra ocracea, un affioramento di roccie completamente diverse è attraversato dallo stradale per 70 od 80 metri. Sono roccie quarzitiche bigio- verdognole e rosso-vinaccia, ad elementi grossolani, in tutto simili a quelle che affiorano a contatto dello gneiss dell'Abisso presso il Forte di Giaura, e che si manifestano come costituite in parte di materiali tufacei di porfidi quarziferi. Queste roccie, riferibili al Permiano, sono incontrate dalla Galleria fra le progressive 6617 e 6745. ∏ Portis (luogo citato) mette sotto una sola tinta (permiano) queste roccie, i gneiss precedentemente incontrati ed un insieme di scisti calcari e di arenarie a cemento calcareo o quarzoso, che il tunnel attraversa fra le progressive 5428 e 5635, il quale insieme noi dimostreremo doversi riferire all'Eocene. Un lembo alluvionale antico ricopre le roccie quarzitiche suddette, dopo le quali, al più meridionale risvolto dello stradale in quei pressi, affiorano le dolomie bianche, cristalline, sac- caroidi, in cui è quindi scavata per buon tratto la valle della Roja.

Sul lato destro di questa, nei calcari marnosi del Cretaceo i quali per un duecento metri a valle della sorgente della Roja, costituendo tutta la falda montuosa, vengono a confinare coll'alluvione, si osserva una faglia marcatissima diretta N.35°.E, con pendenza di 50° verso

---

[23] S. FRANCHI, *Sulla presenza della* structure vermiculée (Michel-Lévy). (Boll. Soc. Geol. it., Vol. XIII, I, 1894).

Nord, a 50 metri da quella sorgente. I calcari marnosi al disotto del piano della faglia hanno strati ad essa paralleli, mentre al disopra vi sono quasi normali. Si può ritenere come certo che quella grande sorgente nasce da quella faglia la cui superficie costituisce come il collettore delie acque interne delle masse rocciose che stanno a monte di essa. Torneremo su questo argomento nel descrivere le roccie attraversate dal tunnel, giacche è in corrispondenza di questo tratto, compreso fra la sorgente in parola e l'affioramento gneissico, che si incontrarono le gravissime difficoltà di traversata dell'imbocco Sud.

La strada carrozzabile che si sviluppa sulla riva sinistra taglia per un cento metri sotto l'ultimo risvolto le dolomie chiare; a queste succedono per brevissimo tratto (35 a 40 metri) dei calcari marnosi scuri in straterelli, ripiegati ad L, aventi un contatto brusco colle dolomie dal lato di monte. Questi calcari presentarono qualche belem- nite ; per ciò e per i loro caratteri litologici che li ravvicinano a quelli del Cretaceo, sarebbero probabilmente da attribuire al membro inferiore di questo, cioè al Neocomiano.

Passato questo affioramento, le dolomie, salvo qualche passaggio laterale alla forma di calcari, di cui si parlerà in seguito, costituiscono per una certa altezza i due versanti della valle fino a qualche centinaio di metri dall'imbocco Sud. Nel versante destro il loro limite superiore si mantiene per un certo tratto, presso il ricovero del Lordo, fra le linee di livello 1150 e 12C0; ma più a Sud, nel contrafforte meridionale di Rocca Cairon esso oltrepassa i 1250; passa a tergo delle C. dell'Ortiga (1251 metri) e gira attorno allo stretto e diruto bacino a quelle case sottostante, per riprendere più in basso il contrafforte suddetto e scendere alla Roja un 125 metri a Nord dell'imbocco. Nel versante sinistro il limite superiore delle dolomie si mantiene fino al vallone di Caramagna all'incirca all'altezza della strada carrozzabile; quindi a Sud di quel vallone segue il ciglio delle rupi segnate sulla carta, con forte tratteggio, e presso le inferiori delle C. Deveglio scende alla Roja. Rappresentiamo approssimativamente con punteggiate le proiezioni di quei due limiti sul piano del profilo della Tav. III.

Le dolomie in discorso hanno grana più o meno spatica, sono massiccio ed a stratificazione poco netta; sono tipiche presso il ricovero del Lordo, dove il corso della Roja scava in esse il rapido suo letto.

Nei pochi punti dove è visibile, la stratificazione mostra direzioni e pendenze varie, raggiungenti sovente i 40°.

Come si disse le dolomie sono per lungo tratto di una certa uniformità ; ma in corrispondenza del tratto di strada ora abbandonato che era sulla destra del torrente si notano dei passaggi graduali per vere sfumature litologiche, da esse a dei calcari compatti scuri, a grana fina, contenenti frequenti noduli di selce, e in qualche punto frequenti belemniti ; come, ad esempio, laddove l'antica strada abbandonata ha il suo piano scavato a scalpello appunto in quel calcare nero. A tutta prima può parere strano che questa importante massa di dolomie appartenga alla serie giurese; ma se si considera che delle parti dolomitiche esistono nella massa dei calcari di Monte Bussaia e in quelli delle rupi a tergo di Briga, certamente giuresi, e che nel Nizzardo una potente formazione di dolomie, riposa sulla zona ad *Ammonites polyplocus* e ad *A. tenuilobatus* (vedi Coquand, Bulletin S. G. de France, année 1876 77, III serie, tome V, pag. 813), essendo le formazioni di cui parliamo la prosecuzione di quelle del Nizzardo, il fatto sembrerà invece naturalissimo.

Queste belemniti sono i soli fossili trovati in questa formazione, essenzialmente dolomitica, e permettono al più di ascriverla al Giurassico. Essa è ricoperta dalla formazione dei calcari marnosi in stra- terelli, avente alla sua base dei calcari arenacei glauconiosi con numerose belemniti, che per le analogie litologiche coi calcari di Val Bevera, che offersero una faunula con *Nautilus pseudo-elegans,* uno di noi ha riferiti al Neocomiano [24]. Non è però possibile affermare se esistano rapporti di continuità fra questo terreno e le dolomie che lo sopportano ; tuttavia per la natura litologica di queste, quando si pensi

[24] S. FRANCHI, *Contribuzione allo studio,* ecc.

alle analogie col Griurese del Nizzardo, noi inclineremmo a ritenerle posteriori al Lias.

Trecento metri circa dall'imbocco Sud, ai due lati della Roja, delle falde detritiche elevate impediscono di vedere il contatto fra questa formazione dolomitica con delle dolomie di tutt'altro tipo, bigie, farinose, più minutamente cristalline, di tipo triasico, che affiorano per meno di cento metri ai due lati della Roja. Sono di quel tipo i calcari che affiorano tra i calcari cretacei, in una zona larga poco più di 100 metri, tra i pressi dell'imbocco Sud e le *Cascine dì Vieura,* indicate sulla Carta. In essi furono trovati crinoidi e traccie non chiare di diplopore.

A questi calcari dolomitici, sul lato sinistro della Roja, segue una zona non più potente di 20 metri di calcari marmorei, con striscio dolomitiche, e dopo vengono i calcari arenacei glauconiosi, bruni alle superficie alterate, con noduli di selce scura e belemniti, identici a quelli riccamente fossiliferi di Val Bevera determinati come neoco- miani; quindi i calcari in Straterelli e gli scisti calcari neri, in cui è l'imbocco della Galleria. Sul lato sinistro, lungo la strada, una zona più sottile di calcari marmorei e di calcari marnosi s'incunea fra i calcari dolomitici riferiti al Trias della zona di Cascine Vieura.

La cartina geologica annessa, colla succinta descrizione geologica ora fatta, basterà a dare un concetto della costituzione geologica della regione attraversata dalla Galleria, la quale, per quanto apparisca già complicata, non potrà tuttavia impedire che si resti ancora sorpresi dalle serie rocciose incontrate nel traforo delle due gallerie della strada nazionale e della ferrovia, serie che passiamo ad esaminare.

**Terreni incontrati nelle perforazioni delle gallerie. —** *Galleria della strada nazionale.* — I dati geometrici di questa galleria sono i seguenti :

Lunghezza metri 3183.10.

Imbocco Nord : quota sul mare metri 1319.15 (asse a 35 metri ad Est del profilo del tunnel ferroviario).

Imbocco Sud : quota sul mare metri 1277. 98 (asse a 161 metri ad Est del profilo del tunnel ferroviario).

Le roccie attraversate, come risulta dall’elenco posseduto dall’Uf- ficio dell’ispettorato ferroviario di Cuneo, e da una serie non molto sistematica di campioni esistenti presso l'Ufficio geologico, completata con alcune osservazioni nelle nicchie per ghiaia non totalmente rivestite, esistenti lungo la galleria, sarebbero quelle dell’elenco seguente, in cui le

| | | |
|---|---|---|
| Da 0 a | 100 metri. | Terreno detritico di origine glaciale. |
| » 100 » | 393 | » Scisti arenacei, calcarei argillosi, ecc., e calcare nummulitico (Eocene). |
| » 393 » | 530 | » Calcare marmoreo, con crinoidi e coralli (Giu- rese). |
| » 530 » | 600 | ,» Scisti variegati, specialmente vinati (Lias in feriore). |
| a | 600 | » Faglia con detriti calcarei e con tufo calcare |
| » 600 » | 2105 | » Scisti argillosi, arenacei, calcari, arenarie com patte ecc., dellΓEocene, in cui è compresa fra le quote |
| » 950 » | 1012 | a una massa di calcare scuro a crinoidi (con nummuliti ?). |
| » 2105 » | 2209 | » Dolomia bigia screziata. |
| » 2209 » | 2265 | » Anidrite e gesso (senza stratificazione). |
| » 2265 » | 2278 | ». Calcare nero compatto, con crinoidi e num muliti. |
| » 2278 « | 2368 | » Scisti eocenici (con vene di gesso). |
| » 2368 » | 2876 | » Anidrite e gesso. |
| » 2876 » | 2898 | » Rottura con tufi calcarei ocracei e detriti calcari. |
| » 2898 a | 3050 | » Scisti eocenici. |
| » 3050 a | 3100 | » Calcare nummulitico scuro. |

progressive partono dall’imbocco Nord.

Per la vicinanza dei piani verticali, passanti per le due gallerie,

3100 a 3183.10 Calcare marmoreo a crinoidi.

non si è troppo lontani dal vero quando si trasportino, proiettandoli sul profilo della galleria ferroviaria, i dati incontrati nella galleria carrozzabile ; e correggendoli poi opportunamente, tenendo conto della direzione degli strati, si ha sempre un' approssimazione maggiore di quella che si avrebbe deducendo i limiti dai dati esterni. Ciò però non è vero che quando i piani delle faglie che esistono non siano troppo inclinati rispetto a quello del profilo. Così la faglia descritta precedente- mente presso l’imbocco Sud della galleria di cui si parla, la quale faglia corrisponde alla rottura notata fra le progressive 2876 e 2898, poco inclinata rispetto al profilo, impedisce alle formazioni che stanno ad Est di essa, e che sono incontrate dalla galleria tra le progressive 2898 e 3183, di raggiungere il piano del nostro profilo, il quale in quel tratto sarà molto diverso dal profilo ad esso parallelo, passante per l’asse dell’ imbocco della galleria carrozzabile, che rappresentiamo alla stessa scala, un po’ più in alto nella stessa Tav. III.

*Galleria ferroviaria.* — I dati geometrici relativi a questa galleria, diretta N-S, sono:

Lunghezza metri 8080.

Imbocco Nord: quota metri 1031.19. Pendenza nel tratto Nord 2 $^{o}/_{oo}$.

Imbocco Sud : quota metri 990. 00. Pendenza nel tratto Sud 10 e 14 $^{o}/_{oo}$.

Quota di massima altezza in galleria metri 1040 circa.

La serie di roccie incontrata nella perforazione è quella della seguente tabella, in cui le progressive sono computate a partire dall’imbocco Nord.

| | | |
|---|---|---|
| Da 0 a 2489 | metri | Scisti calcarei ed arenacei scuri, con intercalazioni di banchi di arenarie compatte e di banchi calcari scuri carboniosi (con numerose vene di calcite spatica). |
| » 2489 » 2588 | » | Calcari neri e bigi, e calcari arenacei zeppi di nummuliti, fra cui *N. perforata* e *N. curvi- spira.* |
| » 2588 » 2898 | » | Calcari marmorei, grigio-chiari, fratturati, con |

corralli e crinoidi (Giurese), (alla quota 2852 un po' di calcare tufaceo frammentario corrisponde probabilmente ad una frattura).

| | | |
|---|---|---|
| | a 2898 metri | Faglia inclinata a Nord, con detriti e melma, molto acquifera. |
| Da 2898 | a 2963 | » Scisti calcarei bigi, piritiferi, calcari marnosi (rappresentanti gli scisti variegati del Lias inferiore). |
| » 2963 | » 2985 | » Calcari dolomitici bigio-cenere, con mosche spatiche (Retico?). |
| » 2985 | » 3006 | » Scisti calcareo-argillosi, bigi e verdognoli rasati, con straterelli di calcare marmoreo. (3006 e 3023 fratture con poltiglia calcarea bigia). |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| » 3025 | » 3058 | » Scisti con liste di calcare marmoreo. |
| | a 3058 | » Faglia. |
| » 3058 | » 3114 | » Scisti ardesiaci ed arenacei (Eocene). |
| » 3114 | » 3550 | » Scisti ardesiaci ed arenacei, con arenarie prevalenti (Eocene). |
| » 3550 | » 4114 | » Scisti ardesiaci, calcareo argillosi ed arenacei (Eocene). |
| » 4114 | » 4330 | » Anidrite con una intercalazione fra le progressive 4277 e 4285 di un masso di calcare nero, venato di gesso. |
| » 4330 | » 4340 | » Scisto calcare nero con vene di gesso (Eocene). |
| » 4340 | » 4450 | » Arenarie in parte compatte, scure, con cristalli di pirite e vene di gesso (Eocene). |
| » 4450 | » 4913 | » Anidrite. |
| » 4913 | » 4954 | » Calcare dolomitico bigio con vene di gesso. |
| » 4954 | » 5185 | » Anidrite. |
| » 5185 | » 5190 | » Calcare marmoreo bigio, venato di gesso. |
| » 5190 | » 5428 | » Anidrite, nella quale sono due intercalazioni |

calcari simili alle precedenti, fra le progressive 5247-5264 e 5334-5345.

Da 5428 a 5440 metri Arenaria quarzoso-felspatica (arcose) bigio-chiara (Eocene).

» 5440 » 5635 » Alternanza di scisti calcare -oarenacei e di scisti calcareo-argillosi neri, con arenarie nerastre (Eocene).

a 5639 » Faglia quasi verticale, obliqua all'asse, pen

» 5639 » 5685 » Arenarie bigie e nerastre compatte e calcari argilloso arenacei scuri (Eocene).

» 5685 » 5688 » Massa isolata di anidrite negli scisti eocenici.

» 5688 » 5754 » Calcari scistosi neri con qualche massa di cal care nummulitico compatto.

» 5754 » 5765 » Breccia di frammenti calcari con cemento di calcare cristallino bigio.

» 5765 » 6035 » Dolomie chiare saccaroidi.

» 6035 » 6348 » Anidrite (con incluso di calcare bigio, venato di gesso alla progressiva 6310).

» 6348 » 6616 » Gneiss con biotite in gran parte cloritizzata, con vene di oligisto e di pirite.

(In corrispondenza del tratto precedente, e proprio della progressiva 6426.50 avvenne lo sprofondamento imbutiforme nel letto della Roia).

In questi gneiss, fra le progressive 6452 e 6482 (circa) havvi una grande spaccatura ripiena di melma giallastra fluida, con massi di gneiss, di scisti permiani e di calcari. Ai due lati della spaccatura lo gneiss è fratturato e smosso, con impregnazione della melma suddetta in tutte le sue fenditure.

Da 6617 a 6745 metri. Quarziti rosse e verdi con elementi porfirici e scisti variegati (Permiano).

» 6745 » 7765 » Dolomia bianca a grana fina o Saccaroide (Giu- ra-lias).

In queste dolomie alla progressiva 7426 si ha una spaccatura con incrostazioni di calcite e *cartone dì monte,* ed alle progressive 7214, 7346 e 7470 si osservano delle masse di calcari nerastri compatti (calcari a belemniti e noduli di selce affioranti lungo la Roja).

Da 7765 a 7852 metri. Calcare dolomitico bigio di tipo triasico, con calcare zonato giallognolo (progressiva 7823), e faglie piene di detrito di calcari marnosi del cretaceo, alle progressive 7785 e 7835.

» 7852 » 7870 » Calcare zonato bruno e calcare marmoreo con liste dolomitiche (Cretaceo inferiore).

» 7870 » 7875 » Calcare bruno in Straterelli (Neocomiano).

» 7875 » 8080 » Calcari marnosi bigi e nerastri in Straterelli e scisti calcari carboniosi (Cretaceo), con numerose fratture e vene di calcite. In queste ultime roccie, presentanti numerose diaclasi e rigetti, è pure scavata la trincea precedente l'imbocco.

**Descrizione e discussione del profilo. — I terreni attraversati** fra le progressive 0 e 2588 appartengono interamente all’Eocene medio, malgrado la loro potenza che risulta apparentemente grandissima, non solo a causa delle molteplici ripiegature minute in cui si tradussero le ripiegature di massa, lungo il profilo poco riconoscibili, ma anche per essere tagliate dal traforo molto obliquamente alla loro direzione. In quel terreno le sole distinzioni possibili sono quelle della parte scistosa (flysch) e della parte inferiore più compatta, nummulitifera. I terreni in parola ricoprono i calcari marmorei giuresi, che ad essi sottostanno come un banco continuo, per quanto se ne giudica dal loro affioramento fra Limonetto ed il Colle di Tenda.

Questo grande banco calcareo è rotto secondo diverse faglie, alcune osservate internamente nella perforazione, e alcune visibili all’esterno, tutte con rigetti di varia importanza. Ai loro lati i calcari sono in alcuni punti fittamente fratturati parallelamente ad esse, sicché si osserva una falsa

stratificazione, la quale per l'uniformità litologica

4* *

della roccia in ogni senso, può trarre in inganno. Il profilo tagliando gli strati obliquamente alla loro direzione, le pendenze appaiono in esso minori e le potenze maggiori delle reali.

Fra Limonetto e il Colle di Tenda gli scisti eocenici della 2ª zona, di cui fu detto più sopra, si vedono chiaramente immergersi quasi in concordanza sotto il ciglione a picco dei calcari marmorei, e quantunque presso il contatto si possano qua e là osservare roccie nummulitifere, pure non si presenta mai il potente banco di calcare bruno soventi arenaceo, zeppo di nummuliti, simile a quello che ricopre i calcari marmorei sull'alto del Colle, la cui continuità e costanza di posizione venne riconosciuta anche nei due trafori Si ha quindi una mancanza di simmetria nella successione ai due contatti, pur così vicini; e questo dato già lascia sospettare che non ci si trova qui in presenza di una piega anticlinale. Presso il Colle di Tenda poi il contatto fra calcare marmoreo e scisti eocenici si presenta come un contatto anormale per faglia.

Nella perforazione della galleria della strada nazionale sotto il banco di calcare marmoreo corrispondente a quello del Colle si riscontrarono gli scisti rossi del Lias inferiore, e al di là di questi una nettissima frattura acquifera, ripiena di melma giallognola con frammenti di calcare finamente triturati (prog. 600), oltre la quale si ritrovarono gli scisti eocenici. Anche nella galleria ferroviaria, oltrepassati gli scisti variegati, corrispondenti a quelli rossi, indi un breve tratto in dolomie più antiche, probabilmente retiche, e finalmente un ritorno di scisti variegati, dovuto a una faglia con rigetto, fu incontrata una grande frattura fortemente acquifera (prog. 3058) con poltiglia calcarea bigia e frammenti di calcare; e al di là di questa la perforazione incontrò di nuovo bruscamente gli scisti eocenici fortemente raddrizzati e sconvolti.

In conseguenza, le roccie della serie costituita dai calcari marmorei a Crinoidi e coralli, scisti rossi e variegati e dolomie bigie cineree non presentano mai, nè nel contatto esterno in alto della montagna, nè nella galleria nazionale, nè in quella ferroviaria, la serie

inversa, che pure dovrebbe ritrovarsi se esse facessero parte di una piega anticlinale comunque ristretta e laminata; ma invece i termini inferiori della medesima vengono sempre a brusco contatto per faglia, indubbiamente riconoscibile, cogli scisti dell'Eocene medio, come viene indicato nel profilo.

Non è quindi in alcun modo ammissibile la spiegazione del fatto fornita dal Portis (1. c., v. profilo), colla ipotesi di una piega anticlinale ribaltata, ma è invece necessario riconoscere la presenza evidente di un fenomeno di slittamento (*charriage*) di un vasto lembo di terreni secondari con tutto il loro manto eocenico sugli scisti eocenici di una sinclinale più esterna (rispetto all'arco alpino) e con uno spostamento in senso orizzontale non molto inferiore ai tre chilometri, considerato in un profilo normale alle direzioni stratigrafiche delle diverse zone.

A Sud di questa faglia, o meglio superficie di slittamento, i due trafori attraversarono per lungo tratto le roccie eoceniche, le quali nella galleria della nazionale giungono fin sotto quei due lembi di terreni secondari scaglionati a Sud del Ricovero Maggiore, i quali nella descrizione geologica vennero considerati come ivi discesi, per effetto di franamento, dal ciglio del monte. 11 protrarsi dell'Eocene sotto quei lembi dimostra la verosimiglianza di questa ipotesi, perchè, tenuto conto dell'assetto generale delle formazioni della regione, se i detti lembi stessero a rappresentare dei veri affioramenti, la loro continuazione in profondità si sarebbe dovuta trovare assai più a Nord della loro posizione esterna.

Solo l'affioramento inferiore potrebbe forse considerarsi come collegato con le anidriti sottostanti, ma da questa ipotesi risulterebbe una disposizione assai inverosimile ed incompatibile sia coll'andamento che presentano i suoi strati, sia coll'insieme di tutti i dati del profilo.

I due piccoli affioramenti di gesso (A e B) presso l'imbocco Sud della galleria carrozzabile nel rigagnolo ad occidente di esso si debbono a nostro avviso, considerare come affioramenti secondari e collegare

colle anidriti adiacenti attraversate da quella galleria; così di quel-

Paltro piccolissimo affioramento di quelle roccie che è nel Rivo Mor- gone a S.E. del ricovero La Punta.

Il contatto fra le anidriti e l'Eocene al Jimite meridionale di quelle, lungo il tunnel ferroviario, passò quasi inosservato nella perforazione, e vi si riconobbe solo un contatto brusco e netto. Per spiegare la sovrapposizione delle anidriti alle rocce eoceniche si può ricorrere a due ipotesi: o del rovesciamento per piega o dello scorrimento lungo una linea di frattura. L'assenza però di ogni traccia di calcari nummulitici, che non mancano mai in tutta la regione, e che anzi sono ben sviluppati, al contatto inferiore dell'Eocene coi terreni secondari, ed anche il carattere dei fenomeni constatati nel resto dal profilo e in tutta la regione, dove le faglie hanno tanta importanza, ci fanno propendere in favore della seconda di quelle ipotesi. In questa interpretazione non ci può essere di soccorso la stratificazione, la quale nelle anidriti si può dire completamente obliterata.

Una delle questioni teoriche più difficili a risolvere è quella dell'età di queste anidriti. Nella regione non esistono affioramenti di tali roccie, ma i gessi si trovano in lembi poco importanti insieme a carniole nel Trias medio della Valle Casterino e nella discesa dal Colle del Sabbione verso Entracque. Questi fatti che si ripetono poi, in vasta scala nel Trias a facies brianzonese nel Delfinato ed in Savoia, e l'esistenza di grandi masse di anidriti nel Trias medio della Moriana ci indurebbero a riferire anche nel caso nostro le anidriti a quel terreno. Ed a questa assegnazione non vi sono argomenti di gran valore da opporre ; solamente è da osservare che tutte le masse calcari incluse nelle anidriti sono litologicamente assai più simili ai calcari marmorei del Giurese che ai calcari dolomitici tipici del Trias. Quindi, a meno che non si ammetta che le condizioni speciali in cui si trovarono quelle masse calcari relativamente esigue in mezzo alle anidriti abbiano potuto indurre in esse delle trasformazioni, si potrebbe con qualche ragione supporre che esse sieno riferibili ad un terreno posteriore al Trias medio. A questa conclusione ci indur-

rebbe anche il fatto della sovrapposizione diretta dell'Eocene, con calcari nummulitici alla base, alle anidriti in qualche punto, quando si osservi che in tutta la regione a Sud del Colle di Tenda, cioè nella valle della Roja, i terreni che si trovano immediatamente sotto il Nummulitico sono o il Cretaceo o, in mancanza di questo, il Giurese.

Il campione della roccia che sarebbe stata attraversata, secondo i dati dell'Ufficio tecnico di Vievola, fra le progressive 5428 e 5440 è una specie di arcose od arenaria costituita dagli elementi del gneiss, con cemento siliceo, che non avremmo difficoltà ad ammettere come permiana, come la ritenne qualche geologo, [25] quantunque non rassomigli molto a quelle tipiche di questo terreno; però fra le progressive 5440 e 5456 si riscontrarono argille nere calcarifere, e dopo (5590) arenarie compatte scure e fino alla progressiva 5625 calcari arenacei bituminosi e argillosi neri, roccie queste identiche ad alcune che sono tipiche dell'Eocene. Alla progressiva 5639, al di là di una faglia, ripigliano le arenarie, di cui qualche campione chiaro è a cemento quarzoso come quello precedentemente descritto; ma gli altri sono arenarie calcarifere più o meno scure, sotto nessun rapporto differenti da quelle dell'Eocene. Al di là delle arenarie, prima della piccola massa di anidrite (5685-5688) e dopo di essa, sonvi calcari scistosi neri come i precedenti, con qualche massa (5697) di calcare nero compatto con crinoidi e con rarissime piccole nummuliti, il tutto riferibile all'Eocene, che si estende fino oltre la progressiva 5754, alla quale il Portis estrasse un campione di calcare con nummuliti. Le breccie a grandi elementi angolosi calcari bianchi e bigi, a cemento eminentemente cristallino che si incontrano fra le progressive 5754 e 5765 sarebbero, a nostro avviso, piuttosto legate colle dolomie saccaroidi sottostanti (5765-6035) anziché ai calcari nummulitici precedenti. Dalla progressiva 6035 alla 6348 si hanno anidriti, le quali, analogamente alle

[25] Secondo il Portis (l. c., p. 152) le roccie incontrato dopo le anidriti fra le progressive 5428 e 5685 rappresenterebbero il « conglomerato del Permiano superiore ».

precedenti, includono alla progressiva 6310 una masserella di calcare marmoreo bigio con vene di anidrite.

Dell'età delle dolomie precedenti, identiche a quelle che si incontreranno in seguito sarà parlato trattando dell'età di queste ; notiamo solo per ora che non si incontrarono nella perforazione i calcari marnosi in Straterelli del Cretaceo, i quali all'esterno, superiormente alle dolomie ed alle anidriti, si osservano sotto il Nummulitico per buon tratto ai due lati della Roja, e si trovarono alla profondità di metri 40 sotto il letto di quel fiume, laddove avvenne lo sprofondamento di esso, in corrispondenza della progressiva 6426. Bisogna perciò supporre che il Cretaceo venga a terminare a cuneo tra il nummulitico e le dolomie, certamente ad esso inferiori, siccome venne indicato nel profilo.

Un contatto brusco, probabilmente di faglia, presso la progressiva 6348 separa le anidriti da una massa di gneiss, talora laminati e con mica quasi completamente cloritizzata, la quale è attraversata per circa metri 288. A questa massa appartengono i gneiss del piccolo affioramento segnalato presso la strada nazionale alquanto più a Nord del contatto suddetto ad oriente del profilo, il che indica che la faglia deve essere diretta verso E.N.E. In questi gneiss sono frequenti vene di oligisto e talora di oligisto con pirite marziale e calcite (6391), e presso il contatto colle anidriti, dei filoni di pegmatite con oligisto. Abbiamo già detto come queste roccie siano veri gneiss e rappresentino un prolungamento verso oriente del massiccio dell'Argentera [26].

Tali gneiss al semplice esame macroscopico potrebbero forse essere assimilati ad alcune varietà di quelle roccie permiane, distinte sotto il nome di besimauditi dallo Zaccagna, non mai, nemmeno Iontana-

---

[26] Non possiamo perciò trovarci d'accordo col Portis (1. c., p. 155) che li chiama « anageniti permiane » e li mette nel suo profilo sotto un'eguale tinta tanto colle roccie incontrato fra le progressive 5428 e 5685, in gran parte di tipo eocenico, che collo roccie veramente permiano (6617-6745) di cui parleremo fra poco.

mente colle anageniti; ed al microscopio si rivelano come gneiss tipici, per struttura e per composizione mineralogica, come già si disse precedentemente.

Trattando delle vicende della perforazione si parlerà della frattura esistente in questi gneiss, la quale essendo riempita di melma calcare con blocchi degli stessi gneiss, di roccie quarzitiche del Permiano e di calcari, si manifesta come una frattura post-eocenica, epperciò assai probabilmente contemporanea di quelle precedentemente descritte.

Le roccie quarzitiche permiane che vedemmo affiorare lungo la Roja sono attraversate dalla perforazione fra le progressive 6617 e 6745, e ricoprono con pendenza Sud i gneiss precedenti.

Ad esse si sovrappongono direttamente ed in trasgressione, poiché manca al loro contatto tutto il Trias, le dolomie alle quali fu già accennato nella descrizione geologica.

Non havvi nulla da aggiungere ai dati del profilo per quanto concerne le dolomie, presentanti passaggi graduali a dei calcari compatti scuri con belemniti, salvo alcune fratture alle progressive 6745, 7246, 7835, la loro stratificazione imperfetta, e le forti pendenze verso Nord nei punti dove quella è visibile. La presenza delle belemniti ci per mette al più di affermare che tali dolomie sono posteriori al Trias, come quelle identiche attraversate dalla Galleria fra le progressive 5765 e 6035.

Esse sono pure molto diverse dai calcari marmorei che furono attribuiti al Giurese; tuttavia, data l'assenza completa del Trias ad un lato di esse ed il loro contatto diretto col Permiano, noi saremmo disposti a riferirle pure al Giurese; le distingueremo tuttavia dai calcari marmorei, intendendo con ciò di lasciare impregiudicata una più precisa determinazione di età.

Il contatto fra le dolomie chiare Saccaroidi precedenti e quelle bigie farinose di tipo triasico, nelle quali come venne detto si trovarono traccio non chiare di diplopore, non lo si può osservare all'esterno ; nè il modo in cui avviene fu rilevato all'interno, sì che si possa dire se è concordante o discordante.

Nei calcari dolomitici triasici la perforazione incontrò diverse spaccature riempite di frammenti dei calcari cretacei, costituenti una breccia poco consistente a cemento marnoso, uno fra le progressive 7785 e 7814, l'altro alla progressiva 7835. E probabile che sia pure in corrispondenza di un'altra spaccatura che alla progressiva 7846 fu incontrato del calcare arenaceo bruno scistoso, ricordante perfettamente quelli neocomiani.

La zona sottile di calcari marmorei bigio chiari, che separa i calcari dolomitici precedenti dal Neocomiano, è probabilmente da riferirsi al Giurese.

Ad essi seguono i calcari cretacei di cui si parlò precedente- mente, e dei quali fanno parte gli scisti neri dell'imbocco assai simili a certe roccie dell'Eocene, ma senza alcun dubbio cretacei.

I calcari marnosi in Straterelli bigi, giallognoli nelle superficie ossidate, dei pressi della sorgente della Roja, dove formano due strettissime sinclinali, si collegano nel modo in cui è indicato dalla punteggiata del profilo con questi calcari dall'imbocco Sud, i quali fanno parte di un bacino sinclinale che occupava tutto lo slargo di Vievola, e che si incontrano fin presso alla sommità di Monte Corto, dove sono ricoperti dal Nummulitico, e sulla sinistra della Roja fin presso alla Madonna Vievola.

In conseguenza non appare chiaro su quali dati si sia fondato il Portis per segnare nel suo profilo due sinclinali di Eocene, le quali sarebbero successivamente attraversate dal traforo dopo le roccie permiane. Oltre al fatto di non essere stata incontrata in quel tratto di galleria alcuna roccia di tipo eocenico, è anche da osservare che la zona di calcari nummulitici che segna il limite inferiore di quel terreno, come si vede dalla carta geologica annessa, dall'imbocco Sud della galleria carrozzabile sale rapidamente al disopra della Rocca Cayron (1651), le cui alte rupi occidentali, a picco sulla Valle Roja, sono in calcari marnosi a Straterelli del Cretaceo, minutamente pieghettati, quindi mantenendosi quasi orizzontale raggiunge la vetta di Monte Corto (1719). Sulla destra della Roja invece, dai pressi del

ricovero La Punta, la stessa fascia nummulitica sale rapidamente alla Punta Margheria (1855 m.) e di lì, poco ad Ovest dalla cima Pernante, passa in Valle Vermenagna. Nel tratto quindi a Sud delle sorgenti della Roja l'Eocene non solo non può in alcun modo essere incontrato dalla perforazione, ma esso si mantiene sulla linea esterna del profilo per altezze che crescono rapidamente ed oltrepassano i 500 metri in corrispondenza della Rocca Cairon, e raggiungono gli 800 in corrispondenza di Monte Corto. Nel profilo sono indicate in punteggiato delle linee rappresentanti approssimativamente le proiezioni dei limiti inferiori dell'Eocene nei due versanti della Roja sul piano di esso. L'Eocene, abbandonato il fondo del ramo principale della Roja a monte delle sorgenti omonime, non vi ridiscende che nei pressi di Ventimiglia tra Airole e Trucco.

Da quanto è stato finora esposto sulla geologia dei dintorni del Colle di Tenda, sui terreni attraversati dalle due gallerie e sui loro rapporti di posizione reciproca, appare quanto numerose ancora siano le incertezze sulla precisa età di alcune importanti masse rocciose. E quantunque alcuni risultati di questo studio, per quanto atti a sorprendere, come sono ad esempio il grande slittamento delle masse di roccie secondarie delle balze delle sommità del Colle e l'altro verificato nei lavori alla progressiva 5428, siano abbastanza provati, non è superfluo il ricordare ora come tali fatti siano dello stesso ordine e natura di altri che nella zona di terreni che ci occupa vennero constatati al di qua ed al di là del confine ; e solo forse l'osservazione delle caratteristiche della zona delle quali si trattò nella prima parte di questo scritto, può indurre nel lettore la convinzione che la interpretazione generale data sia, malgrado le parti in sospeso, assai prossima al vero. Si noti però che le incertezze principali sono quelle riguardanti l'età delle anidriti, le quali possono essere triasiche o giurassiche, e quelle della età delle dolomie bianche saccaroidi sfumanti a luoghi con calcari scuri marmorei a belemniti, le quali possono appartenere al Lias od al Giura; ma che tali incertezze non hanno effetto sulla interpretazione dei rapporti di quelle

con gli scisti eocenici con cui vengono a contatto, nè sui rapporti di queste dolomie coi calcari di tipo triasico in ogni caso sottostanti, o coi calcari in Straterelli del cretaceo in tutti i casi ad essi sovrapposti.

Altri punti dubbiosi sono quelli della natura del limite fra anidriti e roccie eoceniche alla progressiva 5428, il cui contatto anziché per salto, come si indicò nel profilo, potrebbe essere ritenuto come semplice contatto trasgressivo dell'Eocene sulle anidriti; e quell'altro del contatto fra anidriti e gneiss (progressiva 6348), rispetto al quale si possono pure fare le stesse due ipotesi suddette.

Già si dissero le ragioni della scelta da noi fatta; d'altronde la sostituzione di contatti per trasgressione a quei due contatti per faglia non cambierebbe sensibilmente l'aspetto del profilo, nè la sua generale interpretazione.

Confrontando ora il profilo della Galleria colla cartina geologica della regione che attraversa non si può a meno di essere sorpresi dello sviluppo inatteso delle anidriti all'interno della catena costituente il Colle, e della disposizione e sviluppo in profondità dei terreni eocenici, e del protrarsi fin lungo quel profilo dello gneiss del gruppo dell'Argentera, ove si faccia astrazione dell'affioramento assai ridotto che esso presenta, e che a molti osservatori era finora sfuggito.

Il fatto del contrasto inatteso fra il profilo di cui i dati interni sono esattamente raccolti, e la regione, che pure era stata rilevata a grande distanza tutto attorno in modo assai particolareggiato, è tale da consigliare la massima prudenza in chi è chiamato a dare un profilo geognostico di una regione montuosa con struttura a pieghe come sono in genere quelle alpine ed appenniniche. E la prudenza si deve pure estendere alla previsione di quei fenomeni i quali più che l'età e la natura stessa delle roccie attraversate, hanno la massima importanza quando si tratta di una perforazione di galleria, come ad esempio le zone acquifere, o melmose, ecc.

Nel caso nostro se era prevedibile l'incontro di ingenti masse

d’acqua allorché nell’imbocco Nord si sarebbero raggiunti i calcari marmorei sottostanti al Nummulitico, la spaccatura nello gneiss e la zona melmosa ad esso corrispondente, erano assai meno prevedibili. Certo per la vicinanza del profilo per lungo tratto al corso della Roja, sotto al cui letto la galleria non era nemmeno a grande profondità, dovevano logicamente lasciar temere numerose fratture o contatti acquiferi; ma quelle non si supponevano probabili in una massa di gneiss necessariamente limitata, e questi si ritenevano assai più probabili in corrispondenza dei contatti dello gneiss e del Permiano colle roccie secondarie, i quali contatti invece non offrirono particolari difficoltà.

**Vicende della perforazione.** — Il traforo sotto il Colle di Tenda fu incominciato verso la fine del 1889, dapprima con perforazione a mano, e in seguito, dopo terminati gli impianti per la forza motrice e per la compressione dell’aria, ricavata dalla Roja e dal vallone di Limonetto, con perforatrici Ferroux modificate.

Nessun incidente degno di nota speciale reco, fino agli ultimi mesi del 1893, seri ostacoli al lavoro, ad eccezione dell’incontro dal lato Sud di notevoli quantità d’acqua provenienti direttamente dai corsi superficiali, le quali penetravano negli scavi soprattutto per le numerose fessure da cui era tormentato il terreno. Ma nell’autunno 1893 gravissimi incidenti, causa di immense difficoltà e di grande ritardo ai lavori, si presentarono tanto dal lato settentrionale che dall’altro, e di questi crediamo opportuno dare qui qualche accenno.

*Imbocco Nord.* —All’epoca delle visite da noi praticate nella estate del 1894 ai lavori della Galleria, l’avanzata dal lato Nord si trovava sospesa alla progressiva 2469 dall’imbocco per l'incontro di un copioso getto d’acqua presentatosi, fin dall’autunno precedente, sullo spunto del cunicolo di fondo; il getto veniva lanciato, con estrema veemenza e con una portata non inferiore a 100 litri per secondo, fino a circa 10 metri dalla fronte di taglio, e al momento della visita, benché diminuito di forza, non permetteva tuttavia che di avvicinarsi con somma difficoltà a più di 5 metri dalla fronte stessa. Le acque copiose in

terne dovevano sfogarsi, scorrendo sul suolo dello scavo, poiché non era stato praticato un sufficiente canale di eduzione, e quindi allagavano per una certa altezza la Galleria.

Vari provvedimenti furono ideati per vincere la difficoltà e riprendere il lavoro di avanzamento, e finalmente fu adottato quello suggerito da una speciale Commissione governativa, di scavare parallelamente alla Galleria dei cunicoli laterali, collo scopo di attirare e scaricare, suddividendola, la portata del getto interno. I cunicoli vennero intrapresi alla distanza di 10 metri dall'asse della Galleria, avendo previamente sbarrato con una forte diga in muratura, terra battuta e legname il cunicolo principale, soprattutto allo scopo di liberare il suolo della galleria dalla copia di acque che provenivano dall'avanzata.

Lo scavo di questi cunicoli scaricatori, che doveva eseguirsi sotto l'imperversare da ogni lato di veementi getti d'acqua freddissima (6° C.), riuscì estremamente difficile e penoso per il personale, ma tuttavia la loro esecuzione venne alacremente spinta, e dopo una serie di altri gravi incidenti e dopo altre interruzioni, specialmente per scavare canali sufficienti a dare sfogo all'esterno alle acque affluenti in Galleria, fu ripreso finalmente nel settembre 1896 lo scavo della galleria principale.

Le maggiori difficoltà furono presentate dal cunicolo di sinistra, che fu arrestato a metri 9,50 indietro dall'avanzata inferiore. Fino dagli ultimi di agosto 1896 il forte getto centrale essendo notevolmente scemato, i minatori riuscirono ad accostarsi all'avanzata centrale e a praticarvi 6 colpi di mina in corona, ottenendo un avanzamento di metri 0. 60. In seguito a quei colpi il getto prese tutt'altra forma, cioè quella di una lama d'acqua cadente verticalmente da una fessura trasversale nel cielo del cunicolo. Fu allora possibile riprendere colla perforazione meccanica l'avanzata centrale e il lavoro regolare.

Le acque interne anziché esaurirsi o tendere almeno a diminuire divenivano però sempre più copiose, benché suddivise, coll'avanzare degli scavi, che aprivano continuamente nuovi sbocchi al loro sfogo.

Il terreno era in quel tratto costituito dalle roccie dell' Eocene medio, cioè da calcari scistosi neri con intercalazioni di scisti arenacei, molto fessurati nel senso N-S, cioè parallelamente all'asse della galleria, colle spaccature ora saldate da spato calcare, ora aperte, ed è appunto da queste ultime che più copiose e veementi irrompevano le vene d'acqua.

Svariate ipotesi si emettevano allora per spiegare la presenza di così forti quantità di acqua, e fra le più accreditate quella che per mezzo di meati sotterranei esistessero delle comunicazioni fra lo scavo e qualche grande caverna ripiena di acque o riserva interna qualunque, oppure con laghi esistenti nei monti circostanti, come quelli del- l'Abisso, del Lagon sotto la Cima di Gherra ed altri ancor più lontani.

Il laghetto di Peirafica a] piede S.E della Bocca dell'Abisso era a noi conosciuto fin da quando si eseguivano i rilevamenti geologici della regione : esso si trova alla altitudine di metri 2387 in piena formazione gneissica e dista in linea retta più che 6 km. dal punto ove si manifestarono le acque, essendo separato da questo da una potente serie di gneiss, roccie permiane, secondàrie ed eoceniche, traverso le quali non si può ragionevolmente supporre la esistenza di spaccature interne continue; nel qual caso il laghetto, per la sua piccolissima capacità, e sopratutto perchè le acque che esso raccoglie sono quelle di un bacino ristrettissimo e di una massa rocciosa essa pure assai limitata, sarebbe stato in pochi giorni completamente prosciugato.

Neppure dal lago di Gherra, che è più vicino all'asse della Galleria, ma tuttavia ne dista quasi 4 km., e si trova alla altitudine di metri 2050, con una superficie che non supera i metri quadrati 150 e di profondità massima non raggiungente i metri 4, si poteva ragionevolmente supporre che fossero fornite le acque incontrate nella Galleria. Quel lago è scavato in piena formazione eocenica ed è alimentato da sorgenti provenienti dai calcari e scisti eocenici della massa limitatissima in base ed in altezza della Cima di Gherra. La portata di queste sorgenti e di quelle subalvee non supera i 15 litri al 1 ", come risulta

da una misura sommaria della portata dell'emissario. Dall'esame delle sponde di questo e di quelle del bacino non risultò alcun indizio che il livello del lago avesse subite variazioni di qualche entità negli ultimi anni, e d'altra parte con le limitate dimensioni sue, nonché della massa rocciosa che lo alimenta, anche questo si sarebbe esaurito in brevissimo tempo.

Un'altra località da cui si poteva sospettare che provenisse almeno una parte delle acque era il vallone di Panice. Là si osserva in vicinanza dei Magazzini militari una lunga depressione a fondo pianeggiante e colmata di materiale morenico, rappresentante probabilmente il fondo di un antico lago glaciale. Trovandosi questa depressione quasi in corrispondenza sul tratto di avanzata in cui maggiore era la irruzione delle acque, fu ritenuto che la presenza di potenti masse di materiale detritico impregnate d'acqua potesse essere una delle cause del fatto. Non si può assolutamente escludere che una parte dell'acqua affluente in Galleria provenga da un deposito di questo genere, ma tuttavia, per la non grande potenza del deposito stesso e per la sua limitata estensione, messe in confronto con la grandiosità del fenomeno, è chiaro che in qualunque modo la depressione di Panice non può aver esercitata che una minima e trascurabile influenza.

Dall'insieme dei fatti risulta che la spiegazione dello afflusso interno di acque deve ricercarsi nella ordinaria circolazione, nelle viscere della terra, delle acque meteoriche, le quali, assorbite dai terreni permeabili e soprattutto dai vasti affioramenti calcarei della regione, scendono per le numerose e fitte litoclasi in questi prodotte dai movimenti orogenici e da esse stesse soventi allargate per soluzione, per costituire un sistema di vene acquifere interne. È evidente che nello scavo del sotterraneo vennero tagliati vari di questi corsi interni, alcuni dei quali per la loro disposizione e per il loro sviluppo in altezza potevano bene assomigliarsi a veri tubi d'acqua sotto pressione. Probabilmente anche, lungo alcuni di questi, devono esistere cavità ed allargamenti paragonabili a serbatoi interni prodotti dalla erosione meccanica o dalla dissoluzione chimica dei calcari per parte delle acque circolanti.

Riguardo allo sfogo, pur necessario, di queste vene sotterranee, prima che venissero tagliate dalla perforazione, tenuto conto del potente mantello di scisti e arenarie eoceniche, quasi impervio alle acque, che ricopre i calcari giuresi, si può ragionevolmente supporre che la erogazione avvenisse lungo il letto stesso della Vermenagna, a valle della Galleria, sotto forma di sorgenti subalvee dove il corso d'acqua incide gli affioramenti dei terreni permeabili.

L'esistenza generale di simili manifestazioni, in analoghe circostanze geognostiche, non può revocarsi in dubbio, e venne sempre verificata nei corsi d'acqua percorrenti zone di terreni parte permeabili, parte impermeabili, quando si eseguirono misure sistematiche di portata a monte ed a valle di affioramenti di roccie permeabili o di incisioni in queste prodotte dal fiume in tratti sottostanti a banchi più o meno potenti impervii alle acque [1].

[1] Tale è, per esempio, il caso del fiume Sole e del suo affluente Tanagro in provincia di Salerno : per il primo di questi fiumi infatti le misurazioni di cui erano state prima fissate le località in base ad accurato rilievo geologico, fornirono, come era stato previsto, al ponte di Oliveto una portata che, senza cause apparenti, superava di più di 4 mc. quella misurata poco a monte, sotto Quaglietta. Tale aumento non può spiegarsi che col contributo di sorgenti subalvee in quel tratto, dove la valle dopo un percorso in terreni impermeabili taglia i contrafforti di un grande gruppo montuoso calcareo-dolomitico, che si eleva sulla sua destra.

Per il Tanagro poi, fra Sicignano e Contursi si trovarono, sempre senza causa visibile, degli aumenti di portata variabili fra me. 5. 55 e 7. 75, dopo il percorso in una gola incisa nei contrafforti della vasta ed elevata massa calcarea dogli Alburni, le cui vene acquifere interne erano tagliate in quel tratto dal fiume.

Questi fatti, verificati in una regione di costituzione geologica non molto dissimile dalla nostra, forniscono da un lato una spiegazione naturale dei fenomeni in questa osservati, e porgono anche utile ammaestramento per le previsioni che in avvenire dovranno farsi nel caso che la linea venga prolungata oltre Vievola, poiché qualunque sia il tracciato che si sceglierà si presenterà in ogni caso la necessità di lunghe gallerie in circostanze analoghe per l'assetto dei terreni, la loro struttura e permeabilità e la circolazione interna delle acque (V. Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio: Carta idrografica d'Italia. *Il Sele.* Ingegneri BALDACCI e TORRICELLI. Roma 1896).

Nella Galleria di Tenda la portata media delle polle sotterranee andò rapidamente aumentando a misura, che la perforazione dai calcari nummulitici si avvicinava al contatto col sottostante banco di calcare secondario, affiorante all'esterno e in comunicazione diretta con vastissime superficie calcaree assorbenti. La progressiva dell'incontro di questo banco era stata prevista dallo studio geologico con molta approssimazione sulla base degli elementi visibili all'esterno (V. profilo della Tav. III) ; la portata stessa diventò fortissima traverso questo banco, e raggiunse poi un massimo nell'attraversamento della zona eminentemente fratturata indicata nel profilo, per diminuire poi notevolmente, sempre secondo le previsioni, nella traversata dei terreni sottostanti alla zona precedente, terreni di natura poco o punto permeabile. Come è naturale, il procedere del rivestimento murario nelle zone più acquifere, ebbe ed ha grande influenza nel trattenere le acque, delle quali tuttavia le vene più forti continuano a scorrere nella galleria attraverso ad aperture appositamente lasciate nella muratura.

Il diagramma qui unito (V. Tav. IV) mostra la relazione fra le portate delle sorgive interne nel tratto settentrionale della Galleria e le altezze di pioggia e neve cadute nei mesi corrispondenti. I dati relativi vennero forniti dallo solerte Direzione dei lavori, essendo quelli meteorici desunti dalle osservazioni fatte per cura del Capo-ri parto signor C. Baldini nell'Osservatorio di Limone.

L'altezza di neve caduta (segnata con la doppia linea sottile) è stata considerata, secondo la regola ammessa [27] corrispondente a ¹⁄₁₀ di acqua.

Il diagramma indica a colpo d'occhio, come alla caduta di grandi pioggie corrispondessero dei massimi relativi nelle portate (V. p. es. i dati corrispondenti al novembre 1895, quelli dell'ottobre 1896, dell'ottobre 1897, ecc.), e come i massimi assoluti si verificassero nei

[27] Vedi G. MARINELLI, *La Terra.* Vol. I, cap. V. — Vallardi, Milano.

mesi della fusione delle nevi cadute durante l' inverno, come quelli del maggio 1895, corrispondente anche a una forte altezza di pioggia, del maggio e giugno 1896, dell'aprile, maggio e giugno del 1897.

Cosicché se supponiamo le altezze di neve caduta nei mesi tra novembre e marzo aggiunte, previa riduzione in altezza di acqua, alle pioggie del maggio successivo, e ne tracciamo la curva relativa, che si può considerare con grossolana approssimazione, come la *curva dell'acqua venuta a contatto colla superficie del terreno,* noi osserviamo una certa corrispondenza dell'andamento di questa con quella della portata delle sorgive all'interno della Galleria. A rigore queste curve non sarebbero paragonabili sia per le possibili variazioni importanti nelle pioggie e nevi cadute a Limone, dove furono raccolti i dati, e nella alta regione del Colle di Tenda, sia per la irregolarità della fondita delle nevi, che certo non possiamo supporre avvenga totalmente nel maggio, e più specialmente per la continua variazione che da un lato l'avanzamento e dall'altro il rivestimento producevano nelle condizioni delle bocche di efflusso delle sorgive artificiali suddette.

Tuttavia il rapido aumento di portata corrispondente quasi immediatamente alle grandi pioggie ed alla fondita delle nevi, dimostra

che l'area da cui provenivano le acque è compresa in limiti assai vicini all'asse della Galleria, ed è una conferma della spiegazione più sopra addotta, riguardo alla loro diretta origine dagli affioramenti di calcari assorbenti.

Le difficoltà provenienti dall'affluenza delle acque furono le più gravi che si ebbero a superare da questo lato, poiché per ciò che riguarda la natura dei terreni questa si mostrò piuttosto favorevole, quantunque abbastanza frequentemente (V. profilo) si sieno riscontrate faglie ripiene di materie detritiche e zone di roccie fratturate, che tutte vennero superate felicemente, adottando metodi variati a seconda dei casi.

*Imbocco Sud.* — Come fa già accennato, il primo tratto di Galleria da questo lato procedette regolarmente, quantunque reso difficile, specialmente in prossimità dell'imbocco, da numerose fratture incontrate

nella roccia e da filtrazioni acquifero ora provenienti direttamente dal corso della Roja, essendo ivi la Galleria molto vicina alla superficie del terreno, ora da vene interne sotto pressione che davano anche sorgive zampillanti.

La zona di terreno in cui ebbe a svolgersi questa prima parte del lavoro è eminentemente fratturata per causa dei movimenti oro- genici, e di struttura assai complicata, come mostra il profilo, ma dall'esame esterno del terreno, nel quale solo si possono riconoscere indizi di varie faglie e di qualche piega degli strati, nulla poteva far sospettare la gravissima difficoltà cui si andava incontro.

L'ingegnere Girard, capo-sezione ai lavori della Galleria, che con grande intelligenza ideò e pose in opera i provvedimenti per superare gli ostacoli, ritenuti per un tratto insormontabili, che si presentarono da questo lato, descrisse i particolari dell'arduo lavoro in una importantissima memoria tecnica [1]. Da questa e dalle nostre osservazioni dirette sono desunte le notizie seguenti.

Erano stati regolarmente attraversati gli scisti e le anageniti permiane (V. profilo) e il lavoro procedeva nel sottostante gneiss clori- tico, del quale venne citato il ristrettissimo affioramento all'esterno, alquanto faticosamente, per la singolare durezza e compattezza di questa roccia, ben superiore a quelle dei terreni attraversati fino allora. Alla progressiva 1625.10 dall'imbocco Sud il 29 settembre 1893 la perforazione meccanica dove sospendersi per causa di forti filtrazioni e scariche di acqua torbida, provenienti dalle fessure della roccia gneissica; e in seguito, ripresi i lavori, questa cominciò a presentarsi fortemente disgregata e triturata, con frequenti soluzioni di continuità ripiene di melma argillosa gialla e con copiose filtrazioni irregolari, talvolta irrompenti, di acqua fangosa. L'avanzarsi entro questo terreno disgregato, che non permetteva l'uso della perforazione mec[1] Ing. Raffaello Girard, *Galleria del Colle di Tenda. Traversata di una faglia ripiena di materia melmosa e di grossi massi* (Giornale del Genio Civile, Roma, 1897).

canica, fu difficile e lentissimo, e subì frequenti interruzioni, talché dal settembre 1893 fino al luglio 1894, la fronte del cunicolo non potè esser spinta che di m. 12 circa.

Verso la progressiva 1639 dall'imbocco Sud, la roccia gneissica triturata aveva ceduto il posto a un miscuglio caotico di massi di varie dimensioni, di gneiss, di anageniti e scisti permiani e di gessi e anidriti, alcuni poliedrici, più raramente alquanto arrotondati, e gli interstizi erano colmati da una melma semiliquida, la quale a ogni tentativo di avanzamento, a ogni rimozione di qualche masso, invadeva gli scavi per grande altezza e lunghezza con grave pericolo delle persone e danneggiando i lavori già eseguiti.

Durante questo tentativo di far procedere il cunicolo di fondo, si contarono ben quaranta irruzioni di melma, alcune delle quali portarono le materie a più di m. 40 dalla fronte; esse erano spesso accompagnate da scosse e da rumori singolari e impressionanti, dovuti alla caduta ed al movimento della melma con grandi massi lungo la spaccatura che riempivano.

A proposito delle frequenti e irregolari irruzioni di acque ci accadde più volte nelle nostre visite di sentire la opinione che esse si portassero sempre dove più attivi erano gli scavi, abbandonando i tratti già scavati, e questo fatto è anche rammentato dal Girard nella memoria citata. Sembra che di ciò si possa dare una spiegazione assai semplice e naturale, supponendo la esistenza nel magma pastoso specialmente fra masso e masso di numerosi vuoti grandi o piccoli, pieni di acqua la quale si scaricava violentemente appena apertole un adito; la irruzione doveva naturalmente cessare quando il serbatoio interno si vuotava, ciò che accadeva assai rapidamente. Un'altra spiegazione di quel fatto si potrebbe dare riflettendo alla prontezza con cui quella melma si induriva appena venuta a contatto dell'aria. In virtù di questa proprietà quando il deflusso della melma, per sospensione dei lavori o per condizioni speciali veniva a sostare, si formava tosto una crosta solida, che a guisa di cemento chiudeva il passaggio alle materie liquide, le quali irrompevano poscia appena che, col

tentare di spingere avanti la fronte d’attacco, quella crosta veniva abbattuta.

La melma, che venne esaminata nel laboratorio del R. Ufficio geologico, consisteva in una materia argillosa di colore ocraceo chiaro, e dava, spappolandosi nell’acqua una materia di grande plasticità; essa conteneva insieme all'argilla il 25 per cento circa di carbonato calcare, ed aveva la proprietà di rapprendersi rapidamente durante l’asciugamento, in modo che riusciva anche difficile lo scarico dei vagonetti addetti allo sgombro di quella materia, dopo il breve tempo che decorreva fra il caricamento alla fronte d’attacco e lo scaricamento a km. 2,500 nelle gettate.

Il personale, sì dirigente che operaio, continuò con ammirabile perseveranza e coraggio, sfidando i più gravi disagi e pericoli, di cui non si poteva valutare la portata, i tentativi per spingere avanti la fronte del cunicolo, ma ciò non ebbe altro effetto che di produrre più gravi perturbazioni nella massa melmosa, e le difficoltà del lavoro si presentarono assolutamente insormontabili coi mezzi ordinari.

In questo stato di cose, la stessa Commissione governativa che ebbe a dare le disposizioni di cui fu già parlato riguardo alle difficoltà provenienti dalle irruzioni di acqua dall’imbocco Nord, propose che si tentasse, mediante la costruzione di due cunicoli sussidiari laterali alla galleria, di attirare le acque che impregnavano la massa melmosa, prosciugandola e togliendole il carattere di terreno scorrevole.

Neppure la esecuzione di questi cunicoli, che riuscì di somma difficoltà per la veemenza delle acque e per le continue irruzioni di melma, e dei quali quello occidentale fu spinto per m. 33 di lunghezza e quello orientale per 14, servi a prosciugare la massa, o ad esplorarne in qualsiasi modo lo spessore, essendosi dovuti forzata- mente arrestare appena raggiunta dai due lati la massa melmosa medesima, il cui limite risultava cosi non perpendicolare all’asse della Galleria ma diretto approssimativamente S.E -N.O.

Durante la escavazione dei cunicoli avvennero non meno di una

cinquantina di franamenti; il più formidabile di questi, accaduto il 15 ottobre 1894, dopo violente scariche d'acqua torbida e fortissimi boati interni, spinse le materie franate fino a più di m. 50 dalla fronte di avanzamento, ostruendo tutti gli scavi e travolgendo le armature. Contemporaneamente si produsse, alla superficie del terreno presso il letto della Roja e quasi in corrispondenza sull'asse della Galleria, uno sprofondamento imbutiforme di m. 9 di diametro e circa 6 di profondità (punto indicato colle lettere Sp nella cartina), che dava idea della notevole estensione nel senso verticale della massa melmosa racchiusa nelle viscere del terreno. La portata media delle acque fluenti in questo tratto del sotterraneo era di circa 40 litri al 1" ed esse contenevano dal 20 al 25 per cento di materia terrosa.

Il volume di materie solide (melma e massi, che invasero il sotterraneo durante questo periodo del lavoro, nel quale non vennero scavati nemmeno 250 metri cubi utili per l'avanzamento, non è minore di 3000 metri cubi, e non è difficile immaginare quali apprensioni facesse nascere, per la continuazione del lavoro e per la stabilità della Galleria, la esistenza di vuoti interni di simile grandezza in una massa di materia cosi instabile.

A questo punto, oltre a interrompere interamente i lavori da questo imbocco, fu pensato seriamente a variare il tracciato della Galleria abbandonandone un lungo tratto già costruito. Sopravvenne allora, nell'ottobre 1894, in seguito ad accurato studio del terreno e alle previsioni che se ne poterono trarre riguardo all'estensione delle faglie, un accordo fra l'Amministrazione governativa e l'impresa costruttrice, col quale fu stabilito che l'Amministrazione stessa avrebbe eseguito in economia un tratto di Galleria dalla progressiva 1623. 76 in poi, finché non fosse interamente oltrepassata la parte franosa.

Già nell'agosto del 1894 l'Ispettorato generale delle strade ferrate aveva incaricata una Commissione composta dell'ispettore capo del R. Corpo delle Miniere e di uno di noi di eseguire una dettagliata ricognizione geognostica dei terreni attraversati dal tracciato, per averne una guida nei provvedimenti da prendersi per la prosecuzione dei lavori; e la

detta Commissione, alla quale nelle ricognizioni sul terreno e nelle visite ai lavori venne aggregato l'altro di noi, che aveva rilevato geologicamente in grande scala la regione del Colle, e stabilita la cronologia dei terreni che vi erano rappresentati, presentò in proposito una relazione, da cui togliamo i dati seguenti per ciò che riguarda l'imbocco Sud della Galleria, riferendosi per la descrizione geologica della serie e dell'andamento dei terreni a quanto fu già detto nel capitolo speciale.

Discendendo dalla cima del Colle verso Sud ed oltrepassato il gran ciglione di calcare giurese coperto di banchi di calcare nummulitico, e i sottostanti scisti Iiasici, si entra in una vasta falda di scisti eocenici, dei quali la monotonia viene interrotta soltanto dai due scaglioni di calcari e scisti secondari che vennero da noi considerati, per le ragioni già esposte, come frammenti distaccati dal ciglione superiore predetto, e la formazione eocenica si segue fin poco sopra l'imbocco Sud della galleria della strada nazionale, presso il quale affiorano i calcari secondari e il Nummulitico in serie rovesciata.

L'Eocene è, còme fu detto, rappresentato da scisti nerastri argillo-calcarei, da scisti neri lucenti, spesso carboniosi, e da scisti psammi- tici e arenarie più o meno grossolane. Non solo percorrendo la falda fra il ciglio del Colle e l'imbocco della galleria della strada nazionale, ma ancor meglio, addentrandosi nei valloni laterali fra il Colle e la Cima di Pernante o seguendo la strada militare fra il Forte principale e la Cima di Pepino gli scisti eocenici si vedono presentare i più complicati disturbi stratigrafici, e vi si osservano fitte pieghettature, contorsioni, accartocciamenti e rovesciamenti completi; la direzione stratigrafica è tuttavia abbastanza costante ed approssimativamente N.O-S.E.

Al di sotto dell'imbocco Sud della galleria nazionale, dopo un altro ristretto lembo di scisti eocenici, si entra nella formazione calcarea secondaria, in mezzo alla quale emerge, poco più basso del Ricovero la Punta, il limitatissimo affioramento della massa gneissica che fu ritrovata coi lavori interni, e al di là di questo fino all'imbocco Sud della galleria ferroviaria si trovano dapprima gli scisti e

le anageniti permiane, poi una complicata serie di dolomie e calcari di varie epoche, con forti disturbi stratigrafici, di cui venne già parlato.

Ciò che forma la caratteristica della regione in questo tratto è la esistenza di frequenti faglie, chiaramente visibili e fra queste una importantissima, in corrispondenza della spaccatura incontrata internamente, diretta quasi N.O-S.E con una inclinazione di circa 67° verso S.O. Lungo la frattura il terreno è ripiegato e triturato, con visibile soluzione di continuità, e la traccia della dislocazione è segnata nella campagna da una striscia di terra giallognola analoga a quella incontrata allo stato semiliquido nei lavori sotterranei.

La larghezza di questa soluzione di continuità, attentamente studiata dagli indizi esterni, si trovò approssimativamente di una trentina di metri, e nella citata relazione al R. Ispettorato Generale fu in parte su questa base emessa la ipotesi che presso a poco altrettanto dovesse essere lo spessore di materia scorrevole da attraversarsi dalla Galleria, e che la faglia originaria dovesse considerarsi oramai, per movimenti e alterazioni posteriormente subite, come una sacca interna riempita di materiale detritico proveniente dalla disgregazione delle varie roccie che ne formavano le pareti. Ma altri criteri più sicuri si sono avuti nell'affermare la assai probabile breve estensione della zona melmosa da attraversarsi. L'avanzata procedendo da Sud a Nord dai gneiss compatti e senza acqua era penetrata nei gneiss fratturati, dislocati ed impregnati di melme, che annunciavano la vicinanza della mossa delle materie acquifere incoerenti. Ma quale larghezza poteva essa presentare? Questa era la domanda che si poneva inquietante a quelli che avevano la responsabilità del proseguimento del traforo, e che essi rivolsero ai geologi per prendere norma sul da farsi: o tentare di superare con un grande sforzo di tecnica la zona melmosa, se di poche diecine di metri, o pensare ad un cambiamento di tracciato se la larghezza della zona si poteva supporre invece di qualche centinaio di metri. L'esame della carta geologica ci mostrava il limitatissimo affioramento di

gneiss, di cui fu parlato, a poca distanza dal profilo della Galleria (20 metri) e oltre 200 metri a Nord del punto in cui incominciava la melma. Dopo questa adunque nel traforo si sarebbero senza dubbio incontrati di nuovo i gneiss. Il modo di fissurazione del gneiss impregnato di melma aveva poi tutti i caratteri che presentano le roccie ai lati di una spaccatura. La melma perciò doveva costituire coi materiali caotici, di cui è stato detto, il semplice riempimento di una spaccatura o frattura del gneiss, di formazione posteriore a tutti i terreni sovraincombenti, cioè post-eocenica. L'affioramento di gneiss essendo a meno di 200 metri a Nord dell'avanzata nella melma, certamente inferiore a 200 doveva essere la zona di melma da attraversare. Ma inoltre tutto portava a ritenere che la spaccatura nel gneiss, la cui direzione si conobbe nei cunicoli laterali essere inclinata di circa 54° sull'asse della Galleria, dovesse essere più limitata. Poiché la spaccatura iniziale non aveva certo potuto subire un allargamento considerevole, data la resistenza della roccia in questione alla azione meccanica e chimica delle acque che potevano in esse circolare.

La Commissione suddetta, credette perciò di tenersi al disopra dell'ampiezza probabile della zona melmosa, assegnandole un massimo di metri 30 lungo la Galleria ; e le sue previsioni furono confermate dalla perforazione.

La ripresa dei lavori per conto diretto dell'Amministrazione ebbe luogo dopo vari studi per determinare il migliore e più adatto sistema di perforazione, e prima di tutto fu assolutamente respinta l'idea di una variazione di tracciato con conseguente abbandono di un lungo tratto di Galleria e forse anche di tutta, poiché dagli indizi esterni si poteva riconoscere che la temuta frattura si estendeva lateralmente all'asse del primitivo tracciato per più centinaia di metri e che per evitarla sarebbe stato necessario un cambiamento radicale e costosissimo per ogni riguardo. Fu quindi deciso di attraversare in qualunque modo la massa melmosa.

Vari metodi si presentavano (V. Girard, l. c.) e fra questi l'impiego dell'aria compressa, che era praticato appunto in quell'epoca

nella galleria dell'Emmersberg attraverso sabbie colanti, e che era stato già adottato con successo per le gallerie sotto la Hudson-River fra New-York e Jersey-City, ma tal metodo fu riconosciuto pericoloso, di dubbia riuscita e non conveniente per la grandiosità degli impianti, non corrispondente alla presunta lunghezza della spaccatura.

Fu anche pensato alla convenienza dell'incanalamento per precauzione delle acque della Roja, supponendosi che le filtrazioni in gallerìa potessero provenire da quel torrente; ma dietro esatte misure di portata praticate a monte e a valle della spaccatura e per altri sicuri indizi, fra cui un pozzo di esplorazione spinto nel citato sprofondamento superficiale fino a 18 metri sotto il fondo dell'alveo in quel punto distante non più di 4 metri, si riconobbe chiaramente che le acque della Roja non filtravano in quel tratto nel sottosuolo. E questo risultato era da aspettarsi, poiché le sorgenti della Roja che si trovano pochi metri più a valle in corrispondenza di una spaccatura, e che hanno portata quasi costante, mentre la Roja superiormente ad esso è sovente a secco, sono là a dimostrare che in quel tratto si raccolgono le acque sotterranee di cui quelle sorgenti servono come da sfioratore, sicché l'acqua che fluiva dalle melme era, come quella incontrata nell'imbocco Nord, acqua di circolazione interna.

Era in questa circostanza da prendere in considerazione anche il sistema dell'ingegnere F. Rziha [28], da lui con successo applicato nella costruzione delle gallerie ferroviarie di Ippensen e di Naensen nel Braunschλveig, ove vennero attraversate spaccature di considerevole estensione ripiene di sabbie e ciottolame, fluenti con gran copia di acqua Esso è in sostanza basato sul principio seguito già dal Brunnel nella costruzione della galleria sotto il Tamigi (1819-1841), di avanzare cioè lo scavo del profilo, anziché in blocco su tutta la fronte, per singoli elementi di essa, dando con ciò sfogo parziale alle acque e al materiale irruente. Oltre a ciò, alle armature in legname sono

[28] F. RZIHA, *Lehrbuch der gesammten Tunnelbaukunist,* Vol. II. — Berlin, 1874.

sostituite completamente quelle in ferro (esclusa la ghisa). Però nel caso attuale sarebbe stato necessario studiare radicali modificazioni del sistema, in vista della grossezza dei massi inclusi nella melma.

---

Altri metodi più moderni come quello per congelamento del Poetsche, ottenuto mediante la infissione nel terreno di una serie di tubi nei quali circola un liquido portato da apposita macchina refrigerante a una temperatura di — 25° C, ed applicato finora esclusiva- mente allo scavo dei pozzi in terreni fluenti, e quello per consolidamento e petrificazione del magma fluido, iniettandovi, mediante pompe e tubi, grandi quantità di cemento a rapida presa, non si ritennero per varie ragioni applicabili al nostro caso, nel quale oltre a combattere colle fluidità di quella massa non omogenea non conveniva perdere di vista il pericolo, sia per la esecuzione degli scavi sia per la galleria una volta compiuta, dei grandi vuoti interni lasciati dalla enorme massa di materie già franate. Inoltre conveniva tener presente la perdita di tempo e la spesa ingente occorrente per impianti di genere cosi speciale.

Cosi venne razionalmente adottato il metodo belga, consistente essenzialmente nell'eseguire lo scavo per parti limitate della intera sezione, e nel quale appena abbattuta la parte superiore del profilo viene costruito completamente il rivestimento della calotta, procedendo in seguito allo scavo e murazione dei piedritti, sostenendo la vôlta sia artificialmente, sia lasciandola a tratti riposare sulla roccia ed eseguendo la muratura dei piedritti per brevi sezioni.

Fu ripreso dunque il lavoro dapprima tentando di aprire il cunicolo di avanzata in calotta mediante armatura completa a cassa di legno, ma si trovò subito serio ostacolo per la presenza dei massi chiudenti a ogni passo la strada ai marciavanti, che si spezzavano contro di essi, e per le continue irruzioni di melma che fluiva attorno a ogni masso.

Per la estrema difficoltà di procedere con armatura in legname, col quale sistema, le operazioni di scavo e il collocamento dei legnami richiesero per qualche quadro 18 giorni di continuo lavoro, in mezzo a gravissimi pericoli per la incolumità del personale, fu pensato dalla

Direzione dei lavori di ricorrere a un metodo che permettesse di spingere i tavoloni marciavanti anche traverso i massi, spezzandoli ove opponessero resistenza, e fu studiato un apparecchio del tutto nuovo, consistente in una armatura metallica a rivestimento completo, i cui particolari sono minutamente e chiaramente descritti dall'ideatore del sistema, Ing. Girard, nella citata memoria accompagnata da nitidi disegni (l. c), alla quale rimandiamo chi volesse farsi un adeguato concetto degli interessanti particolari del sistema. Nella stessa memoria sono poi descritte con abbondanza di particolari le successive operazioni per lo scavo e rivestimento della calotta, e, in seguito, dei piedritti e dell'arco rovescio.

Lo scavo e rivestimento susseguente dell'arco rovescio riusci relativamente più facile, avendo la melma acquistato un certo grado di coesione.

Mediante l'adozione del sistema sopraindicato per il cunicolo di avanzamento in calotta, i lavori di ripresa della galleria riattivati il 1° dicembre 1894 ebbero dopo aspra lotta lieto risultato, poiché il 6 maggio 1895 il cunicolo stesso aveva traversata la spaccatura melmosa e raggiungeva l'altra parete gneissica, trovando dapprima lo gneiss fratturato ed acquifero con melma nelle fessure, indi la roccia solida; e alla fine di marzo 1896 era già completato, sempre traverso grandi difficoltà, un tratto di sotterraneo lungo metri 43.44 per conto diretto della Amministrazione, e i cantieri vennero riconsegnati all'impresa, la quale riprese regolarmente i lavori di avanzamento.

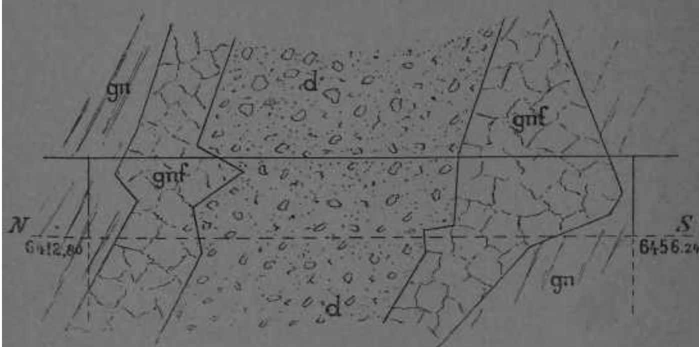
Conformemente alle previsioni basate sullo studio geologico la larghezza della spaccatura risultò di circa metri 30, e la sua forma fu riconosciuta come è indicato nella figura che segue.

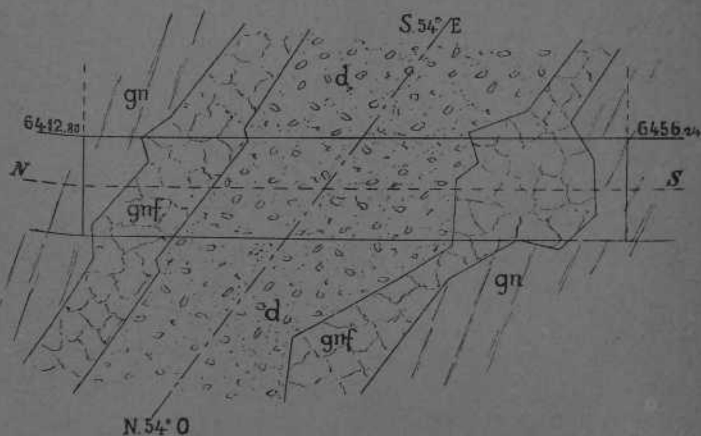
Dopo queste gravi difficoltà, cosi faticosamente superate, non si verificarono altri avvenimenti di notevole importanza, anzi può dirsi che il traforo riuscì, per la natura e disposizione delle roccie, per la scarsità di acque interne e per altre circostanze, relativamente facile, e il 13 febbraio 1898 ebbe luogo, con grande precisione, l'incontro fra il tratto di Galleria perforato del lato settentrionale e quello del lato meridionale alla distanza di metri 3090 dall'imbocco Sud.

*Sezioni della faglia incontrata fra le progressive 6412,80 e 6456,24 dall'imbocco Nord.*

(Scala di 1 a 500)

Sezione verticale.



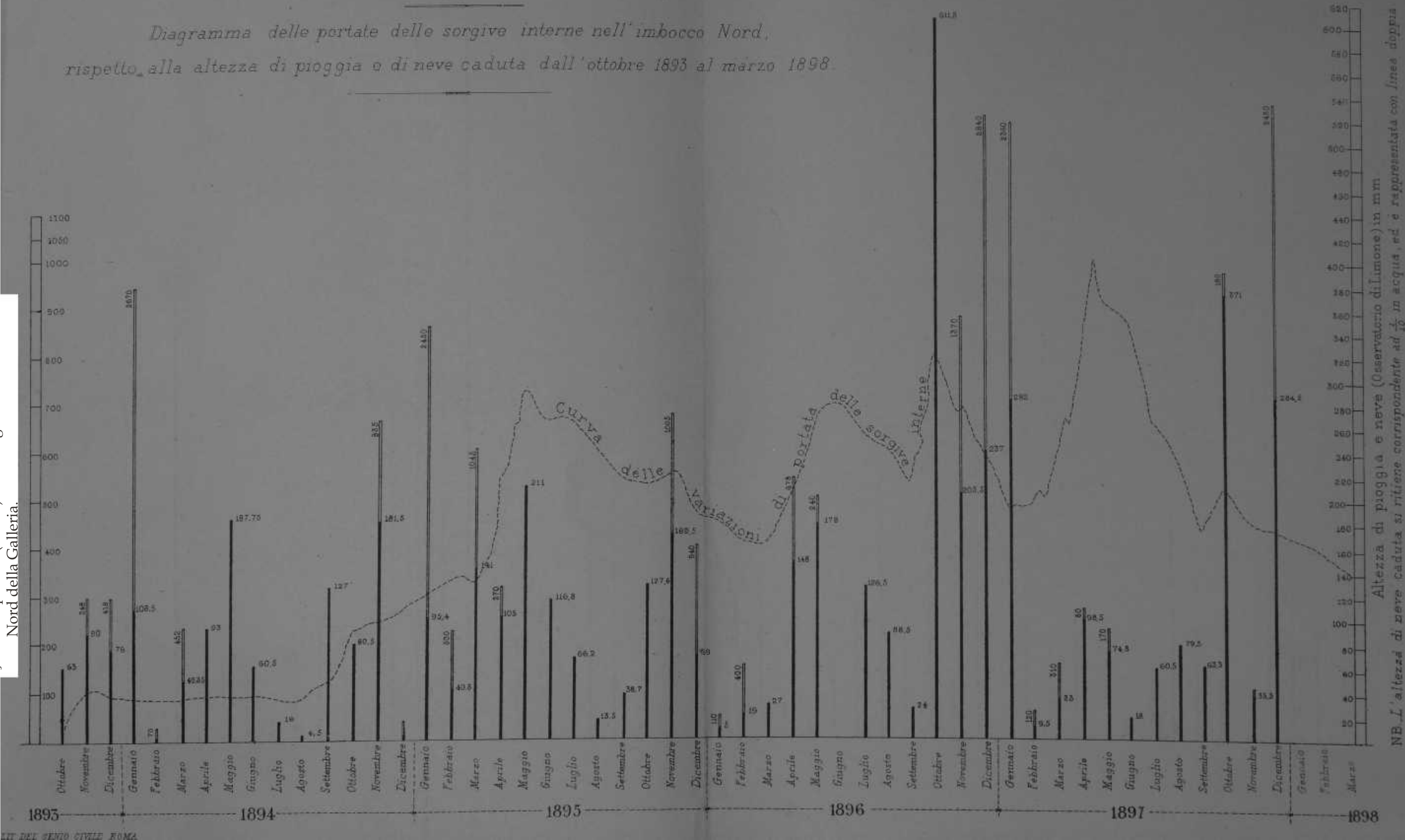

Sezione orizzontale.

*gn.* Gneiss cloritico con vene di oligisto, ecc.
*gnf.* Gneiss c. s., molto fratturato con poltiglia terrosa gialla nelle spaccature.
*d.* Magma caotico di poltiglia argilloso-calcarea con massi di gneiss, anageniti, calcari e anidrite.

I profili indicano la serie dei terreni traversati, fra i quali sono notevoli le potenti masse di anidrite. A proposito di queste è solo da osservare che, in vista della compattezza di quella roccia e della sua apparente solidità, fu sperato che fosse possibile fare a meno del rivestimento murario completo di tutta la sezione, e sopratutto dell'arco rovescio; ma che in seguito, essendosi cominciato a manifestare in vari tratti scoperti del profilo qualche rigonfiamento e parziale dila- mazione © distacco di roccia, dovuto a fenomeni di idratazione, fu preso il prudente partito di rivestire interamente la sezione, come se ne era intravista la opportunità, in base a fatti analoghi già verificatisi in altre gallerie praticate traverso Fanidrite.

Riguardo al calore interno sì della roccia che dell'aria non vennero fatte sistematiche osservazioni, e ciò per la principale ragione che durante tutta la durata dei lavori non si ebbero mai a lamentare inconvenienti per effetto di eccessive temperature, malgrado che verso il mezzo della Galleria si avesse uno spessore di roccia sovra-incombente di metri 870 circa. Ciò avrebbe portato, secondo la legge geotermica dell'aumento di 1° per ogni 33 metri di altezza, a una temperatura di circa 27° nella roccia, temperatura che non venne certo mai riscontrata. Tal fatto era dovuto essenzialmente alla presenza ed alla attiva circolazione delle acque interne, aventi una temperatura di appena $6^0$ C. e inoltre alla forma del monte, con ripido risalto in mezzo e piuttosto pianeggiante nei due versanti, per effetto della quale la temperatura interna del terreno resta più direttamente in relazione colla temperatura media esterna: era quindi piuttosto applicabile in questo caso l'aumento geotermico verificato nelle grandi gallerie del Cenisio e del Gottardo, di 1° per ogni 50 metri circa di profondità e quindi di poco più che 18° nelle roccie, temperatura che non è tale da produrre disagi o inconvenienti, anche coll'elevato grado di umidità e coll'inquinamento dell'aria che si verificano per tante cause nello scavo di grandi gallerie.

Roma, dicembre 1899.


Galleria di Tenda (Cuneo-Ventimiglia)
Diagramma delle portate delle sorgive interne nell'imbocco Nord,
rispetto alla altezza di pioggia o di neve caduta dall'ottobre 1893 al marzo 1898.
Sçala delle portate (in litri) delle sorgive interne nel tratto Nord della Galleria.
Altezza di pioggia e neve (Osservatorio di Limone) in mm.
NB. L'altezza di neve caduta si ritiene corrispondente ad 1/10 in acqua, ed è rappresentata con linea doppia
Curva delle variazioni di portata delle sorgive interne
Ottobre
Novembre
Dicembre
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
1893
1894
1895
1896
1897
1898
LIT. DEL GENIO CIVILE ROMA